

POISTOILMALÄMPÖPUMPUN HYÖDYNTÄMINEN ASUNTORA- KENTAMISESSA

Tuomas Rauhamäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Talotekniikan
koulutusohjelma
LVI-tekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-tekniikka

RAUHAMÄKI, TUOMAS:

Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen asuntorakentamisessa

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2013

Heinäkuussa 2012 uudistuneissa rakennusten energiatehokkuutta koskevissa rakentamismääräyksissä siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun, jolla pyritään parantamaan energiatehokkuutta ja huomioimaan eri lämmitysmuotojen ympäristövaikutukset.

Työssä tutkittiin mahdollisuutta käyttää poistoilmalämpöpumppua lämmöntalteenotto-laitteena ja osana lämmitysjärjestelmää yhdessä kaukolämmön kanssa. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmää vertailtiin tavanomaiseen lämmöntalteenotolla varustettuun tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmään case-kohteen avulla. Järjestelmien energiatehokkuutta vertailtiin E-lukulaskelmien avulla. Järjestelmien kustannusvaikutuksia tutkittiin investointi- ja käyttökustannusten perusteella. Lisäksi yritettiin määrittää poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tasauslaskentaa varten.

Poistoilmalämpöpumppu toimii keräämällä poistoilmasta energiaa talteen lämmöntalteenottopatterin avulla ja siirtämällä lämmön lämmitysjärjestelmään ja käyttöveden lämmittämiseen.

Siirtymällä poistoilmalämpöpumppujärjestelmään voidaan luopua ilmanvaihtokoneesta ja sen konehuoneesta. Myös tuloilmakanavisto ja sen laitteet jäävät pois. Toisaalta joudutaan investoimaan poistoilmalämpöpumppuun ja siihen liittyviin laitteistoihin.

Työssä tutkittiin erilaisia korvausilma- ja lämmönjakoratkaisuja asumisviihtyvyyden, kustannusten, energiatehokkuuden ja toteuttamiskelpoisuuden avulla. Lisäksi kerättiin tietoja mahdollisuuksista kytkeä poistoilmalämpöpumppu yhteen kaukolämmityksen kanssa. Siirtyminen poistoilmalämpöpumppujärjestelmään lisää kaukolämmityksen tarvetta talviaikaan. Toisaalta muina vuoden aikoina poistoilmalämpöpumppu pystyy toimimaan yksinään rakennuksen lämmön lähteenä.

Työssä tehtyjen laskemien perusteella poistoilmalämpöpumppujärjestelmä ei täyttänyt rakentamismääräyksissä esitettyä E-lukuvaatimusta, ellei lisätä uusiutuvan energian tuottoa tai vähennetä vaipan johtumishäviöitä. Investointikustannuksiltaan poistoilmalämpöpumppujärjestelmä oli huomattavasti edullisempi kuin tavanomainen ilmanvaihtojärjestelmä. Säästyneet kustannukset voidaan investoida ostoenergiaa pienentäviin ratkaisuihin ja näin laskea E-lukua ja käyttökustannuksia. Käyttökustannukset vaihtelivat valittujen ratkaisujen ja kaukolämmön hinnan mukaan. Keskimäärin käyttökustannukset kuitenkin kasvoivat käytettäessä poistoilmalämpöpumppua.

Asiasanat: poistoilmalämpöpumppu, e-luku, energiatehokkuus, kustannusvaikutukset, kaukolämpö, vuosihyötysuhde

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in building service engineering
Option of HVAC- technology

RAUHAMÄKI, TUOMAS:
Utilizations of Exhaust Air Heat Pump in Residential Building

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 2 pages
May 2013

In July 2012, building regulations considering updated building energy efficiency, moved on to total energy consideration which is supposed to improve energy efficiency and to observe environmental impacts of different heating forms.

The possibility to use exhaust air heat pump as a heat recovery device and a part of heating system together with district heating were studied in the thesis. The exhaust air heat pump system was compared with a regular heat recovery equipped exhaust ventilation system with a case-object. The energy of the system was compared with E-number calculations. The expense-effects of the systems were examined by the investment- and usage-expense. The heat recovery heating seasonal performance factor was also tried to be determined for a balance calculation.

The exhaust air heat pump works by collecting energy from exhaust air with heat recovery coil and shifting the heat in to the heating system and heating domestic water.

By shifting to the exhaust air heat pump system, the ventilating unit and its engine room can be dispensed. There is no use for the supply air duct work system either and its equipment anymore. In the other hand, there needs to be investments on the exhaust air heat pump and its equipment.

Different kinds of replacement air- and thermal distribution solutions by inhabit comfort, expenses, energy efficiency and inhabit competence were studied in the thesis. Information was collected about the possibilities of connecting exhaust air heat pump together with district heating. By shifting to exhaust air heat pump system, the need of district heating increases in the wintertime. Although the exhaust air heat pump is able to function as the only heat source, during other seasons.

Based on the calculations, the exhaust air heat pump system did not fulfill the E-number requirements shown in the building regulations, unless the renewable-energy supply is increased or the envelope conduction loss is decreased. By the investment expense, the exhaust air pump system was far more affordable, compared to a regular air ventilation system. The expenses that are saved can be invested to solutions which minimize the purchased energy and this way lower the E-number and running costs. The running costs were changing by the chosen solutions and the cost of district heating. Although on average, the running costs increased on using the exhaust air pump.

Key words: exhaust air heat pump, E-number, energy efficiency, expense-effects, district heating, heating seasonal performance factor

Esipuhe

Tämä insinöörityö on tehty rakennussuunnittelutoimisto Optiplan Oy:ssä yhteistyössä NCC Rakennus Oy:n kanssa.

Haluan kiittää Optiplan Oy ja NCC rakennus Oy:tä, joilta sain mahdollisuuden ja aiheen insinöörityöhöni. Kiitos koko Optiplanin henkilökunnalle ja erityisesti ohjaajalleni Sari Pyylammelle saamastani kannustuksesta ja avusta.

Erityiskiitokset esitän perheelleni ja ystävilleni saamastani kannustuksesta ja tuesta opiskelujeni aikana.

Tampereella 18.5 2013

Tuomas Rauhamäki

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	PILP - JÄRJESTELMÄN TEKNINEN TOTEUTUS.....	10
2.1	Poistoilmalämpöpumpun toiminta	10
2.1.1	Lämpökerroin	12
2.2	Varaajat.....	13
2.2.1	Mitoitus	13
2.2.2	Kytkeä ja integrointi	14
2.2.2.1	Esimerkkejä kytkennöistä.....	15
2.2.3	Tilavaraus ja sijoitus	17
2.2.4	Lämpöhäviöt.....	17
2.2.5	Vaikutukset kaukolämmön tilaustehoon.....	18
2.3	Tuloilma	19
2.3.1	Ilmanjako, ilmamäärät ja rakennuksen alipaineisuus	20
2.3.2	Veto.....	21
2.3.3	Ääni.....	24
2.3.4	Ilmanlaatu.....	24
2.3.5	Tuloilmaikkunan energiatehokkuus.....	25
2.3.6	Korvausilma yleisissä tiloissa	26
2.3.7	Käytön ohjeistus	26
2.4	Lämmönjako	27
2.4.1	Lämpötilat	27
2.4.2	Lattialämmitys	28
2.4.3	Kaksiputkijärjestelmä	29
2.4.4	Jakotukijärjestelmä	29
2.4.5	Märkätilojen lämmitys	30
3	KESÄAJAN LÄMPÖTILAHALLINTA	32
4	ENERGIANKÄYTÖN MITTAUS	33
5	KUSTANNUSVAIKUTUKSET	34
5.1	Investoinnit	34
5.1.1	Perinteinen tulo-poisto ilmanvaihtokone	34
5.1.2	Poistoilmalämpöpumppu	34
5.1.3	Kanavisto ja sen laitteet	34
5.1.4	Varaajat ja apulaitteet	34
5.1.5	Pinta-ala ja alaslaskut.....	35
5.1.6	Sähkö- ja kaukolämpöliittymät.....	35
5.2	Käyttökustannukset	37

5.2.1	Kaukolämpö	37
5.2.2	Sähkö.....	38
5.2.3	Huoltokustannukset	39
5.2.4	Kustannukset tulevaisuudessa	39
6	ENERGIALASKENTA.....	41
6.1	Tasauslaskenta	42
6.2	E-luvun laskenta.....	46
7	TULOKSET.....	50
7.1	Kustannukset.....	50
7.1.1	Investoinnit.....	50
7.1.2	Käyttökustannukset.....	51
7.2	E-luku	52
8	YHTEENVETO JA POHDINTA	53
	LÄHTEET.....	56
	LIITTEET.....	58
	Liite 1. Pohjakuva	58
	Liite 2. Hormikuvat	59

ERITYISSANASTO

Astetunti	Kuvaa tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa
COP	Hyötysuhde, (Coefficient Of Performance)
E-luku	Energiamuodon kertoimella painotettu rakennuksen vuotuisen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, kWh/(a m ²)
kWp	Nimellisteho
LTO	Lämmöntalteenotto
Nettoala	Kerrostasoala ulkoseinien sisäpintojen mukaan
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
SFP	Ilmanvaihdon ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
SPF	Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen.
SRMK	Suomen rakentamismääräyskokoelma

1 JOHDANTO

Insinööriyön tekeminen sai alkunsa ajatuksesta, että olisiko olemassa muita ratkaisuja kuin jo suuren tekniikkamäärän ennestään kasvattaminen muuttuvien energiamääräysten myötä. Voisiko olla mahdollista luopua koneellisesta tulopoistoilmanvaihtojärjestelmästä ja korvata se koneellisella poistolla ja poistoilmalämpöpumpulla? Korvausilma otettaisiin tuloilmaventtiilin, -ikkunan tai – patterin avulla.

Tuloilmakanaviston pois jääminen alentaisi rakennuskustannuksia ja lisäisi myös todennäköisesti asuntojen lattiapinta-alaa ja vähentäisi alaslaskujen tarvetta. Myös muut Poistoilmalämpöpumpun ja ilmanvaihtokoneen aiheuttamat kustannukset tulee huomioida.

Poistoilmalämpöpumpulla saatava lämpö ilmanvaihdosta ei luultavasti kylmimpään talviaikaan saavuttaisi tulo-poistojärjestelmän lämmöntalteenoton tehokkuutta, mutta lämpimämpänä aikana poistoilmasta kerätty lämpö voisi toimia yksistään rakennuksen lämmönlähteenä.

Tämä Insinööriyö toteutetaan Optiplan Oy:ssä yhteistyössä NCC rakennuksen kanssa. Työn tarkoituksena on tutkia case -kohteen avulla poistoilmalämpöpumpun hyödyntämismahdollisuuksia ja rajoituksia asuinrakentamisessa. Tuloksissa tarkastellaan ratkaisujen vaikutuksia rakentamis- ja käyttökustannuksiin sekä energiatehokkuuteen.

Case -kohteena käytetään 5-kerroksista ns. pistekerrostaloa jossa oli koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Rakennuksen nettopinta-ala on 2001 m^2 , Huoneisto-ala $1573,5 \text{ m}^2$, Asuntoja 23 ja asukkaita 59. Poistoilmamääränä on $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimina SRMK D3 2012 mukaiset vertailuarvot. Vuotoilmalukuna q_{50} on $1,4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Kerrospohjakuva esitetään liitteessä 1.

Työssä keskityttiin tutkimaan poistoilmalämpöpumpun käyttöä asuinkestoaloissa. Tuloksia voidaan kuitenkin soveltaa myös muihinkin rakennuksiin tietyin rajoituksin.

1.1 Uudet energiamääräykset

Heinäkuussa 2012 astuivat voimaan uudet energiatehokkuutta parantavat rakentamismääräykset, SMRK D3. Määräykset koskevat vain uudisrakentamista ja niiden tuoma keskeinen muutos on siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun. Käytännössä tämä tarkoittaa, että rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle määrätään rakennustyyppikohmainen yläraja, joka ilmaistaan niin sanotulla E-luvulla. Asuinkerrostaloissa E-luku ei saa ylittää arvoa 130 kWh/(m²a). E-luvun laskennassa huomioidaan rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto. Määräysten tiukennus tarkoittaa keskimäärin 20 prosentin parannusta nykyisten määräysten vaatimaan energiatehokkuuteen. Taustalla ovat EU:n tavoitteet energiansäästöön ja päästöjen vähentämiseen.

E-luvun laskemisen mahdollistaa se, että eri energiamuodoille on annettu kertoimet, jotka kuvaavat luonnonvarojen käyttöä. Energiamuodoille annetut kertoimet kannustavat käyttämään kaukolämpöä sekä uusiutuvia energianlähteitä, kuten pellettiä ja lämpöpumppuja. Muutos lisää merkittävästi suunnittelun vapautta. Kokonaisenergiatarkastelu koskee kaikkea rakennuksessa tapahtuvaa energiankulutusta, eli siinä otetaan huomioon lämmityksen lisäksi muun muassa ilmanvaihto, valaistus ja lämmin vesi. Riittävän pieneen E-lukuun on mahdollista päästä useilla erilaisilla tavoilla. Energiamuodoille annettujen kertoimien lisäksi suurimmat muutokset siirryttäessä ET-luvusta E-lukuun olivat kesä-ajan lämpötilahallinta, kuluttajalaitteiden lisääminen sähkönkulutukseen ja pinta-alan huomioiminen nettoalan eikä bruttoalan mukaan.

Lisäksi työssä on käytetty uudistuvaa SRMK D5 luonnosta joka on julkaistu ympäristöministeriön internet-sivuilla 14.3.2012

2 PILP - JÄRJESTELMÄN TEKNINEN TOTEUTUS

2.1 Poistoilmalämpöpumpun toiminta

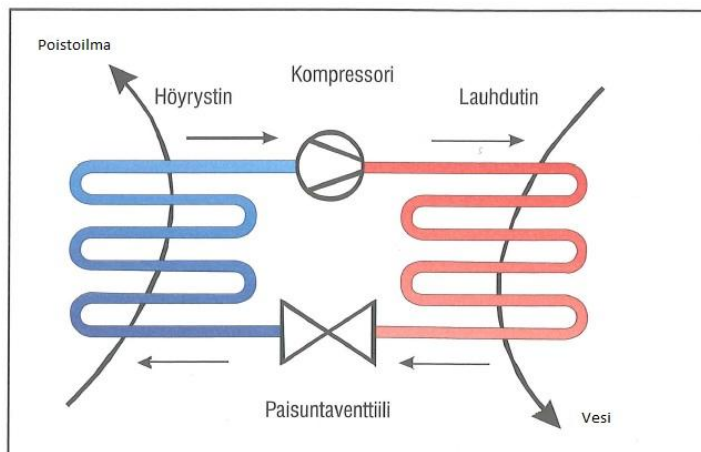
Lämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin jääkaappi tai pakastin, eli se kerää ja siirtää lämpöä kylmemmästä paikasta lämpimämpään. Jääkaapin kompressorikoneisto pitää kaapin ja sen sisällön kylmänä poistamalla kaapista lämpöä, joka vapautuu kaapin takana olevasta radiaattorista huonetilaan. Lämpöpumppu toimii samalla tavalla, mutta vastakkaiseen suuntaan. Lämpöpumpuissa koneistokin on samantapainen kuin jääkaapeissa, mutta huomattavasti isompi ja tehokkaampi. (Perälä, 2009)

Lämpöpumppujen pääkomponentit ovat kompressorin, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin. Kompressorin puristaa kaasumaisen kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin se kuumenee. Paineenalainen kuumentunut kylmäaine ohjataan lauhduttimelle, jossa se luovuttaa lämpönsä ja tiivistyy nesteeksi. Tämän jälkeen kylmäaine ohjataan paisuntaventtiilille, jossa sen paine sekä lämpötila laskevat voimakkaasti ja se kaasuuntuu jälleen. Paisuntaventtiililtä jäähtynyt kaasu kulkeutuu höyrystimelle, jossa se sitoo itseensä lämpöä. Tämän jälkeen kaasu siirtyy kompressorille ja kierto jatkuu.

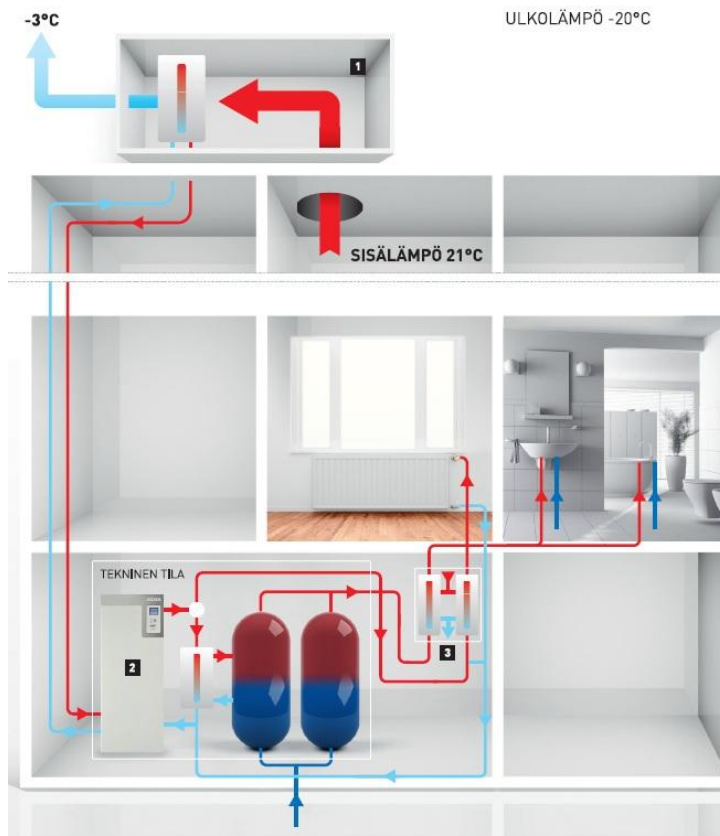
Poistoilmalämpöpumput ottavat lämmön talteen rakennuksen poistoilmasta ja luovuttavat sen lämpimän käyttöveden valmistamiseen tai tilojen lämmitykseen. Toimintaa on havainnollistettu kuvissa 1 ja 2.

Laskelmissa jäteilman lämpötilana lämmöntalteenottopatterin jälkeen käytettiin -3°C .

Sisäilman lämpötilana käytettiin 21°C , näin patterilta saatavaksi tehoksi saatiin 28,8 kW. Kosteus vaikuttaa ilmassa olevan energian määrään, mutta kosteuden vaihtelua ei otettu huomioon teholaskelmissa.



KUVA 1. Kylmäaineen kierto poistoilmalämpöpumpussa (Perälä, 2009)



KUVA 2. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate (Naavatar)

Poistoilmalämpöpumpputähtelmä koostuu kolmesta kokonaisuudesta sekä niiden välisestä putkituksista ja kaapeloinnista. Yksiköt ovat:

- kattoyksikkö (kuva 3)
- lämmitysyksikkö (kuva 4)
- kaukolämmön lämmönjakokeskus

Lisäksi kaikkia laitteita ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmällä.



KUVA 3. Kattoyksikkö (Hydrocell)



KUVA 4. Lämmitysyksikkö (Naavatar)

Koska poistoilmaa jäähdytetään voimakkaasti, laskee sen lämpötila alle kastepistelämpötilan. Tästä syystä vettä tiivistyy jäähdytyspatterin pintoihin. Tiivistyvä vesivirta voi olla todellakin suuri, joten on tärkeää, että vesi johdetaan ohjatusti viemäriin.

2.1.1 Lämpökerroin

Pumpun toiminnan tehokkuutta kuvaa sen lämpökerroin COP (Coefficient Of Performance). COP-arvo kertoo, miten moninkertaisen määrän lämpöä lämpöpumppu tuottaa itse kuluttamaansa energiamäärään verrattuna. Esimerkiksi lämpökertoimen arvolla 3 lämpöpumppu luovuttaa jokaisen itse käyttämänsä kilowattitunnin lisäksi rakennukseen kaksi ylimääräistä kilowattituntia lämpöä.

Lämpökertoimen suuruus riippuu lämmön keruu- ja luovutus piirien lämpötiloista.

Poistoilmalämpöpumpulla keruupiiri on aina saman lämpöinen, joten lämpökerroin kasvaa mitä alhaisempi käyttökohteen menoveden lämpötila on.

Esimerkki laskelmissa on käytetty seuraavia COP- arvoja

TAULUKKO 1. Menoveden lämpötilan vaikutus COP- arvoon.

Menoveden lämpötila °C	COP
35	4,1
45	3,6
55	3,0

Lisäksi pumpuille voidaan määrittää SPF-luku, joka on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuiseseen sähkönkulutukseen. Apulaitteiksi lasketaan kaikki pumput ja puhaltimet, jotka liittyvät lämpöpumppujärjestelmään.

Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan (Ympäristöministeriö,2011) esittämiä arvoja PILP: n SPF- luvusta jäteilman lämpötilan suhteen taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Poistoilmalämpöpumppujen tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF -lukuja poistoilman lämpötilan ollessa 21 °C. (Ympäristöministeriö, 2011)

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
<i>Jäteilman alin lämpötila</i>	
-3	2,4
+1	2,1
+3	2,0
+5	1,9

2.2 Varaajat

Vesivaraajia tarvitaan varastoimaan lämpöpumpulta tulevaa lämmintä vettä. Varaajat lisäävät lämmitysverkoston vesitilavuutta, jolloin lämpöpumppu käy pidempiä yhtenäisiä jaksoja. Tällöin pumppu toimii energiatehokkaammin ja kestää paremmin käytön aiheuttamia rasituksia ja käyttöveden lämmityksen tehohuiput tasaantuvat. (Vornanen, 2012)

Hybridilämmitysjärjestelmä tulisi lähtökohtaisesti toteuttaa siten, että se käyttää mahdollisimman tehokkaasti lämpöpumpun tuottamaa energiaa. Kaukolämpöön kytkettävää hybridijärjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon muun muassa järjestelmän käytettävyys, täydentävän lämmönlähteen hyötysuhteen maksimointi ja kaukolämmön jäähtyvyys. (Jurvelin, 2011)

2.2.1 Mitoitus

Varaajan mitoituksen ohjearvoksi annetaan noin 50dm³/asukas. Tämä tarkoittaisi kyseisessä kohteessa lähes 3000 litran varaajaa. (Seppänen, 2001.253).

Varaajat mitoitetaan yleensä kokemusperäisesti. Vesitilavuuteen vaikuttavat veden kulutuksen määrä ja varaajan lämmitysteho.

Aina varaajat eivät ole näin suuria, osa valmistajista suosittelee kahta 500 litran varaajaa.

Paras hyötysuhde varaajalle saadaan, kun sen sisälle saadaan muodostettua lämpötilakerrostuma. Tämä saavutetaan parhaiten valitsemalla korkea ja kapea varaaja. (Jurvelin, 2011)

2.2.2 Kytkeä ja integrointi

Kaukolämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmien integrointi voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Integrointi on ollut Suomessa kuitenkin melko vähäistä, eikä integroinnille ole myöskään mitään yleisesti hyväksyttyä tai ainoata toteutustapaa vaan toteutus vaihtelee kohteittain. Vaikka kauko- ja poistoilmalämpöpumppulämmityksen integroinnin voisikin toteuttaa monin eri tavoin, integroinnista päättää aina viime kädessä kaukolämmöntoimittaja. Kaukolämmönkuluttaja ei siis saa tehdä kaukolämpölaitteisiin mitään kytkentöjä ilman kaukolämmön toimittajan lupaa. Kaikki suunnitelmatkin tulee hyväksyttäväksi ensin kaukolämmön toimittajalla. (Energiateollisuus, 2010)

Mikäli siis harkitsee PILP-järjestelmän liittämistä oman kiinteistön kaukolämpöjärjestelmän yhteyteen, kannattaa kysellä ensin toteutusvaihtoehtoja kaukolämmöntoimittajalta. Kaikissa kaukolämpöyhtiöissä ei kuitenkaan vielä ole erillistä ohjeistusta integrointiin liittyen. Tällöin kannattaa tutustua aiempiin toteutuksiin tai energiyhtiön etujärjestöjen ehdottamiin toteutustapoihin.

Päälinjauja on kaksi; ns. suorakytkentä ja lämminvesivaraajakytkentä.

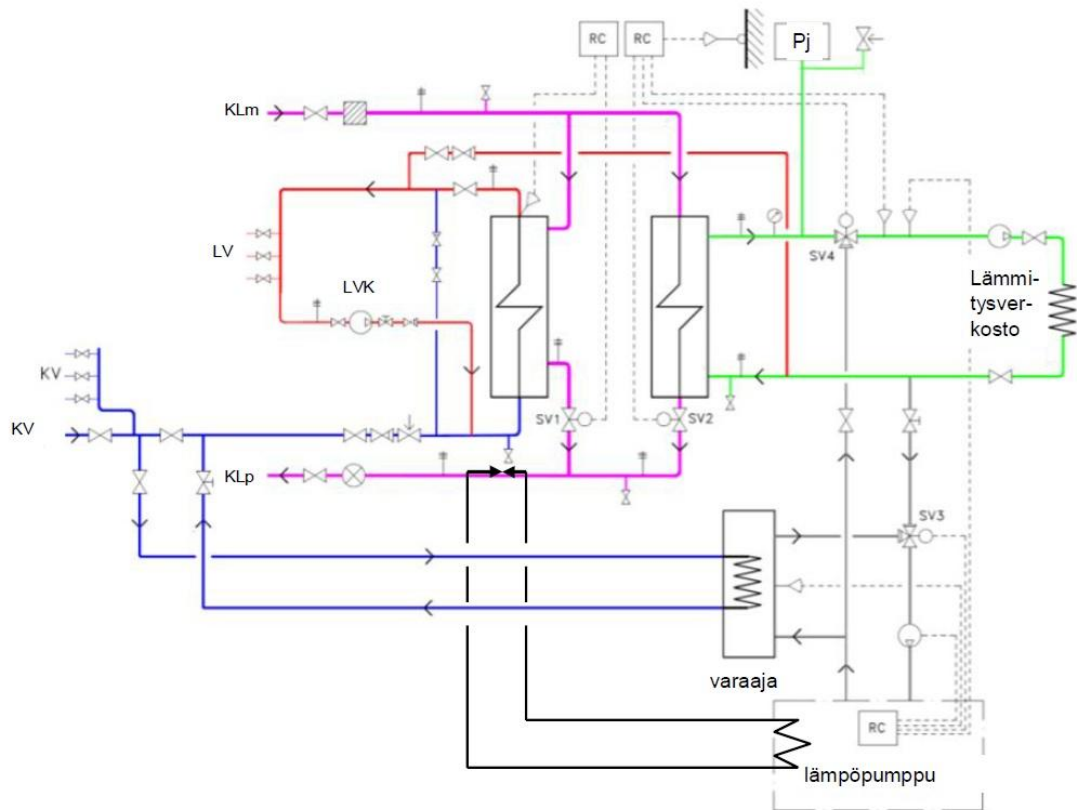
Suorassa kytkennässä PILP:llä lämmitetään lämmitysverkostoa ja loppulämmitys hoidetaan tarpeen mukaan lämmönvaihtimilla. Jos lämpöä tuotetaan enemmän kuin lämmitysjärjestelmä tarvitsee, aletaan lämpöä siirtämään käyttöveden varaajaan.

Varaajakytkennässä lämmitetään varaajan vettä, josta lämpö siirtyy järjestelmään. Varaajan lämpötilan laskiessa otetaan lisälämpöä kaukolämmöstä varaajaan.

Suorassa kytkennässä käyttöveden lämmitysteho on suurempi kuin varaajakytkennässä, johtuen tehon tarpeen huipuista. PILP:ä käytettäessä voidaan käyttää kytkentää, jossa talvella tehontarpeen ollessa suurinta PILP esilämmittelee lämmitys- ja käyttövettä ja lämmönvaihtimet hoitavat molempien järjestelmien loppulämmityksen.

Lämpimämpänä vuoden aikana PILP hoitaa niin lämmityksen kuin käyttövedenkin tuoton.

2.2.2.1 Esimerkkejä kytkennöistä

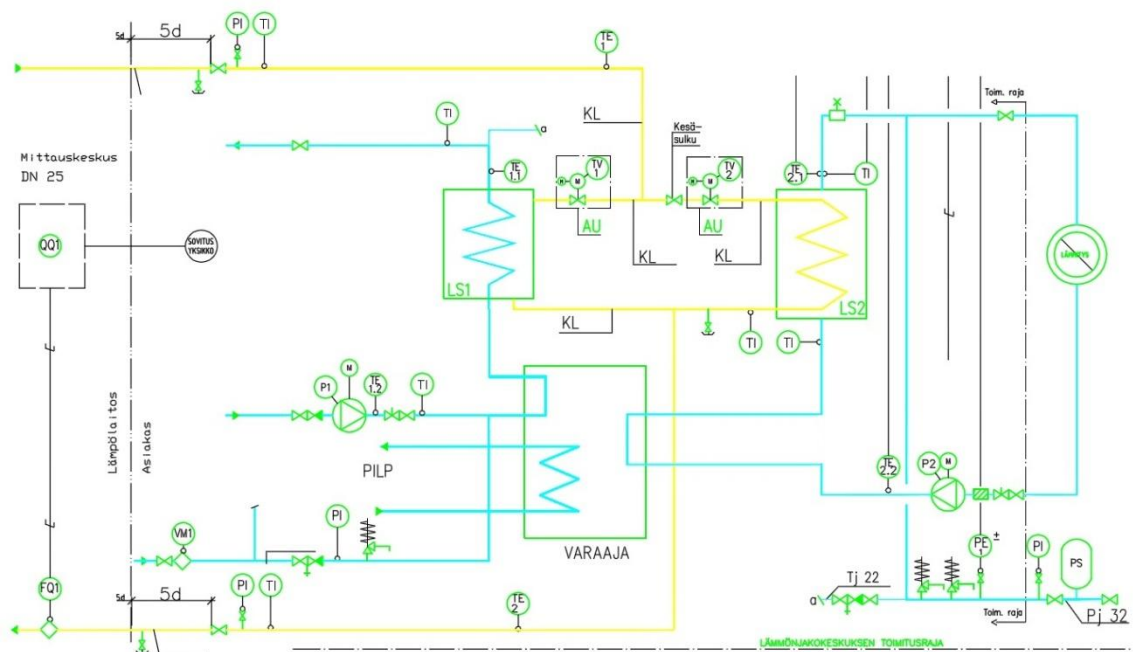


KUVA 5. Lämpöpumpun kytkentä ilman varaajaa, jota on tehostettu lämpöpumpun höyrystimelle johdetulla kaukolämmön paluuesikierrolla. (Pöyry, 2011)

Kuvassa 5 on PILP kytkettynä lämmitys- ja käyttövesijärjestelmään. Käyttöveden lämmitys tapahtuu hetkellisesti kierukkasäiliössä. Lämpöpumppu pumppaa vettä patteriverkostoon. Kun lämpöpumpun teho ei riitä, lämpötilaa nostetaan kaukolämmöllä. Lämpötilan laskiessa kierukkasäiliössä lämpöpumpun tuottama lämpö ohjataan sinne.

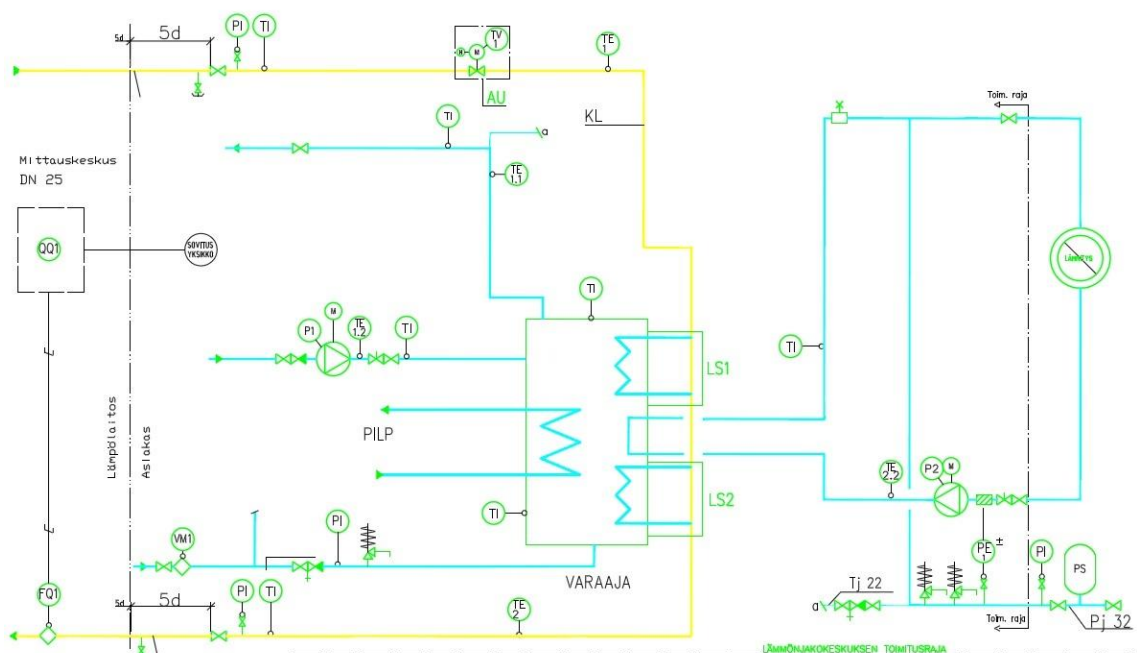
Kaukolämmön ollessa jatkuvasti käytettävissä on sillä mahdollista priimata myös lämpöpumpun höyrystimelle menevän LTO-lämmön lämpötilatasoa ja/tai tulistaa höyrystinpiiriä ja näin mahdollistaa lämpöpumpun lauhdutinpuolen lämpötilan nosto korkeammalle lämpötilatasolle. Kun kaukolämmöllä varmistetaan, että lämpöpumpun operointitila säilyy kaikissa olosuhteissa edullisena, lämpöpumpulla saadaan luotettavasti ja edullisemmin tuotettua vähintään +58 °C käyttöveden lisäksi menovettä lämmitysjärjestelmään. Höyrystinpuolen priimaus-kytkennällä kaukolämmön jäähtymä paranee ja kaukolämpöverkkoon nähden edullisessa paikassa sijaitseva kiinteistö voidaan myös kytkeä kaukolämmön paluuveteen. (Pöyry, 2011)

KytKentä voidaan tehdä myös ilman höyrystinpuolen priimausta.



KUVA 6. Lämpöpumpun kytkentä varaajaan, tarvittava lisälämpö kaukolämmön siirtimiltä

Kuvassa 6 on PILP kytkettynä lämmitys- ja käyttövesijärjestelmään. PILP lämmittää varaajassa olevaa vettä. Käyttöveden ja lämmitysjärjestelmän lämmitys hoidetaan varaajissa olevilla kierukoilla. Kun PILP:n lämpöteho ei enää riitä nostetaan lämpötilaa kaukolämmöllä. Myös tässä on mahdollista käyttää höyrystimelle johdettua kaukolämmön paluuesikiertoa.



KUVA 7. Lämpöpumpun ja kaukolämmön kytkentä varaajaan.

Kuvassa 7 on PILP kytketty varaajaan yhdessä kaukolämmönvaihtimien kanssa.

PILP lämmittää varaajassa olevaa vettä ja kaukolämmön siirtimet toimivat lisälämmön lähteenä, jos varaajan veden lämpötila laskee. Ensimmäinen lämmönsiirrin priimaa käyttöveden ja toinen esilämmittää varaajaan tulevaa kylmää vettä, parantaen näin kaukolämmön jäähtymää. Lämmitysverkoston kierukka on sijoitettuna varaajaan.

2.2.3 Tilavaraus ja sijoitus

Yleensä varaajat sijoitetaan tekniseen tilaan PILP: n koneiston yhteyteen. Varaajat vaativat asennustilaa koosta riippuen muutamasta neliöstä useaan neliöön. Myös PILP: n koneiston vaatima tila ja huollon tarve tulee huomioida tilavarauksia tehtäessä.

Yleensä tekniset tilat on mitoitettu kaukolämmityksen vaatiman tilan mukaan, jolloin sinne mahtuu ainoastaan kaukolämmön mittaus- ja lämmönsiirrinpaketit, paisuntasäiliöt ja vesimittari.

Luonnossuunnitteluvaiheessa on oltava yhteydessä arkkitehtiin ja varmistuttava siitä, että tilavaraukset ovat riittävät koneistoja ja varaajia varten.

Lämpöpumput tuottavat käydessään huomattavan paljon ääntä ja tämä tulee huomioida laitteiden sijoittelussa ja kytkennässä. Pumpun asentamista asuntojen viereisiin tiloihin ei voida suositella, varsinkaan makuuhuoneiden puoleisille seinille. Rakennesuunnittelijaa on hyvä konsultoida pumpun sijoittelussa.

2.2.4 Lämpöhäviöt

Lämpimän veden varastoinnista syntyy häviöitä, jotka tulee huomioida lämmitystarvetta arvioitaessa. Häviöiden määrään vaikuttaa varaajan eristepaksuus ja varaajan koko.

TAULUKKO 3. Lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen häviö. (SRMK D5 luonnos)

Varaajan tilavuus, l	Varaajan lämpöhäviö, $Q_{\text{kv, varastointi}}$, kWh/a	
	40 mm eriste	100 mm eriste
50	440	220
100	640	320
150	830	420
200	1000	500
300	1300	650
500	1700	850
1000	2100	1100
2000	3000	1500
3000	4000	2000

Laskelmissa on käytetty varaajana 1000 litran varaajaa 100mm eristeellä.

Eli kokonaishäviöksi saadaan 1100 kWh/a.

Uudistuvan D5:n luonnoksen mukaan varaajan häviöistä 50 % voidaan hyödyntää lämpökuormaksi.

Eli varaajien aiheuttama lisälämmöntarve on 550 kWh/a.

2.2.5 Vaikutukset kaukolämmön tilaustehoon

Lämmöntuottolaitteistot voidaan mitoittaa lasketusta lämmitystehontarpeesta poikkeavasti. Esimerkiksi varaavissa järjestelmissä varaajaan tai varaaviin rakenteisiin voidaan tuoda vuorokautinen energia muutamassa tunnissa. Teho on tällöin moninkertainen jatkuvaan lämmitystehontarpeeseen nähden. Toisaalta lämpimän käyttöveden suuret hetkittäiset tehohuiput voidaan ottaa varaajasta, jolloin varaajaa voidaan lämmittää hitaasti pienellä teholla uutta käyttöä varten. (SRMK D5 luonnos).

Kaukolämpöliittymän tilausteho kasvaa käytettäessä PILP:ä, koska kylmimpänä aikana lämmöntalteenotto ei pysty toimimaan yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin tulo- poistojärjestelmän LTO.

2.3 Tuloilma

Korvausilman järjestämiseksi koneellisessa poistoilmanvaihdoissa on 3 pääasiallista tapaa; korvausilmaventtiili, tuloilmapatteri tai tuloilmaikkuna.

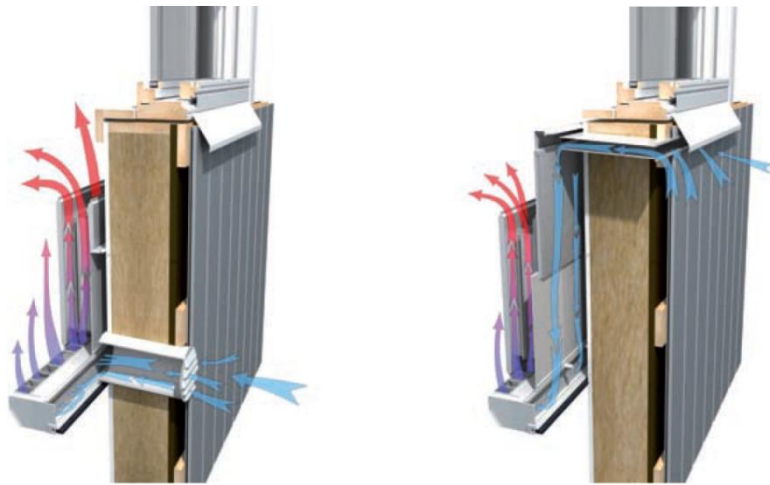
Korvausilmaventtiili on venttiili seinässä jonka kautta korvausilma johdetaan ulkoa huonetilaan. Korvausilmaventtiileiden mallit vaihtelevat valmistajan mukaan.

Osassa malleista on sisäänrakennettu termostaatti, joka ohjaa venttiililautasen avautumista lämpötilan mukaan.



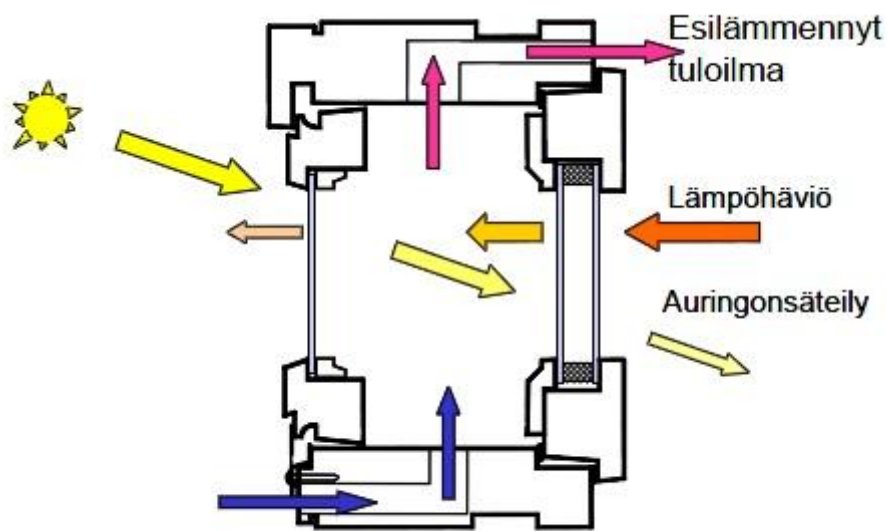
KUVA 8. Korvausilmaventtiili suodattimella (Innoair)

Tuloilmapatterissa raitisilma johdetaan patterin taakse joko seinästä tuloilmakanavalla tai teleskooppikanavan avulla ikkunan alapuolisesta raosta. Tämän jälkeen ilma kulkee patterin lävitse ja lämpiää matkalla. Tuloilmapatteria käytettäessä on huolehdittava, ettei patteri pääse jäätymään esimerkiksi lämmityksen toimintahäiriön vuoksi.



KUVA 9. Raitisilmapatterin ilman sisäänotto. (Purmo, 2011)

Tuloilmaikkunan toimintaperiaate on yksinkertainen: Ulkoilma johdetaan ikkunan puitteiden väliseen tilaan ala- tai yläkarmin kautta ja edelleen huonetilaan yläkarmin tai puitteen läpi. Rakenteen läpi virratessaan ilmavirta lämpenee – lämpöä otetaan talteen ilmavirtaan ikkunan omista lämpöhäviöistä. Myös ikkunaan kohdistuva auringonsäteily lämmittää tuloilmaa. (Heimonen & Hemmilä, 2006)



KUVA 10. Tuloilmaikkunan toimintaperiaate (Heimonen & Hemmilä, 2006)

2.3.1 Ilmanjako, ilmamäärät ja rakennuksen alipaineisuus

Korvausilmalaitteet on sijoitettava oleskelutiloihin kuten makuuhuoneeseen ja olohuoneeseen sekä saunaan. Poistoilmaventtiileiden paikka on wc:ssä, keittiöissä, vaatehuo-

neessa ja suihkutiloissa. Näihin tiloihin ei saa asentaa korvausilmaventtiiliä, koska se vähentää oleskelutiloihin tulevaa ulkoilmaa. Jokaisessa huoneessa tulee siis olla joko poistoilma- tai korvausilmalaite.

Ilman jako toteutuu hyvin muissa tiloissa paitsi tupakeittiöissä, joissa joudutaan tuomaan korvausilmaa ja samalla poistamaan sitä samasta tilasta. Tupakeittiöissä on järkevää sijoittaa korvausilmalaite vastakkaiselle seinälle poistoilmaventtiiliin nähden. Näin saadaan korvausilma kulkemaan oleskeluvyöhykkeen kautta.

Rakennuksen sisätiloissa on oltava koneellisesti tehty riittävä alipaine ulkoilmaan verrattuna, jotta voidaan varmistua ilman virtaamisesta tuloilmalaitteen läpi ulkoa sisälle.

Tuloilmalaite on oltava varustettu laitteella tai rakenteella, joka estää ilman virtaamisen laitteen läpi huoneilmasta ulkoilmaan. Tämä riski on olemassa, mikäli rakennuksen painesuhteet muuttuvat hetkellisesti tuuliolojen tai puhaltimen toimintahäiriön vuoksi.

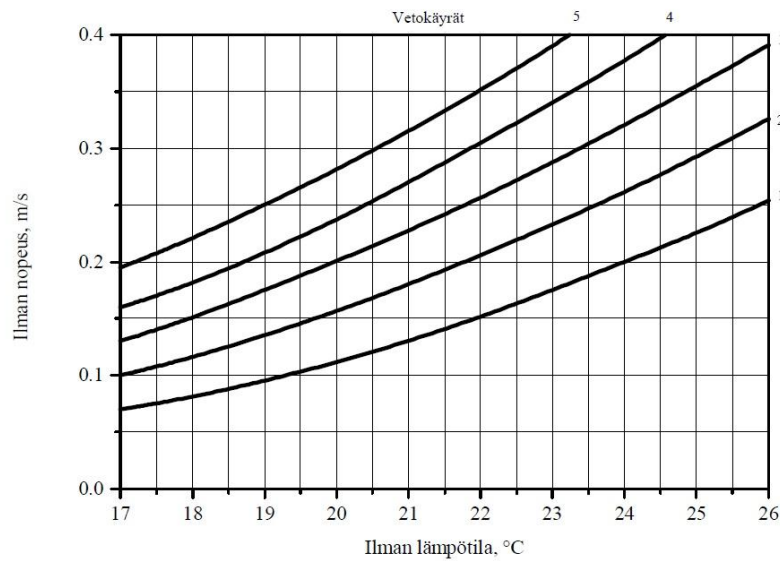
Tuloilmaikkunalle tulee esittää ilmavirran ja paine-eron välinen riippuvuus, jotta voidaan osoittaa, että suunnitteluilmavirta on saavutettavissa. Suunnitteluilmavirta on saavutettava alle 30 Pa:n paine-erolla. Ilmavirta-paine-erokäyrästä mitataan ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntä- ja testausohjeen määrittelemällä tavalla tai eurooppalaisten tai kansainvälisten standardien mukaisesti. Mikäli venttiilirakenteessa on eri säätöasentoja tai useita rakenne- ja varustevaihtoehtoja, ilmoitetaan, millä säätöasennolla ja rakenne- ja varustevaihtoehdolla ilmavirta-paine-erokäyrästä on mitattu. (Heimonen & Hemmilä, 2006)

Ilmavirtojen on täytettävä rakennusmääräyskokoelmassa D2 (SRMK D2) esitetyt huonekohtaiset ilmavirtavaatimukset.

2.3.2 Veto

Veto on ilman liikkeestä aiheutuvaa epäviihtyisyyttä. Jokainen aistii vedon eri tavalla. Vedon tunteeseen vaikuttavat kuitenkin ilman nopeus ja ilman lämpötila.

TAULUKKO 4. Vetokäyrät kuvaavat epäviihtyisyyttä aiheuttavan ilman liikkeen riippuvuutta ilman lämpötilasta. (SRMK D2)

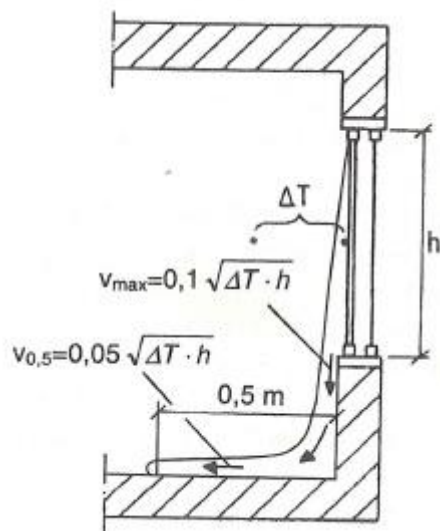


Ikkunan pinta-lämpötila on talvella selvästi huoneen ilman lämpötilaa alhaisempi. Ilman läheisyydessä jäähtyy ja sen tiheys kasvaa. Syntyy alaspäin suuntautuva ilmavirtaus, jonka nopeus riippuu ikkuna pinnan ja huoneen lämpötilojen erotuksesta ja ikkunan korkeudesta. Maksiminopeus kylmän pinnan alareunasta saadaan likimäärin kaavasta

$$v_{max} = 0,1 \sqrt{h \Delta T} \quad (1)$$

h = ikkunan korkeus

ΔT = huoneilman ja ikkunan pinnan välinen lämpötilaero



KUVA 11. Kylmän ikkunapinnan aiheuttama alaspäin suuntautuva konvektiovirtaus. (Seppänen, 2001. 159)

Törmätessään lattiaan virtaus kääntyy lattiapinnan suuntaiseksi. Tämä kylmä ilmavirtaus voi aiheuttaa helposti vetoa. Virtaus voidaan estää sijoittamalla lämmin pinta ikkunan alle. Lämmin pinta aiheuttaa vastaavalla tavalla ylöspäin suuntautuvan konvektiovirtauksen, joka lämpimänä estää vedon synnyn.

Lämmönjakotapa ja patterin sijoitus on vapaammin valittavissa hyvin eristetyissä rakennuksissa ja sellaisissa, joiden ikkunan pintalämpötila on jollain muulla keinolla pidetty riittävän korkeana. (Seppänen, 2001.159).

Tuloilmaikkunan sisäpinnan pintalämpötila on matalampi kuin vastaavalla perusikkunalla. Suunnittelussa on tarkastettava, ettei tuloilmaikkunan sisäpintaan tiivisty kosteutta haitallisia määriä. Muissakin ratkaisuissa on tarkastettava, ettei tuloilmaelimeen mahdollisesti tiivistyvä vesi aiheuta vahinkoja rakenteessa.

Kodeissa jo 0,1 m/s ilmavirtaus voi aiheuttaa vetovalituksia, vaikka yleisesti vetokriteerinä käytetään 0,15 m/s. (Kurnitski, 2012)

Kaikilla tuloilmaratkaisuilla on mahdollista tuoda ilma vedottomasti sisään.

Tuloilmaventtiiliä tai – ikkunaa käytettäessä on kuitenkin oltava erittäin tarkkana miten ilma tuodaan huonetilaan ja miten kylmät virtaukset estetään.

Vedon tunnetta saadaan vähennettyä joko laskemalla sisään tulevan ilman nopeutta ja/tai lämmittämällä alaspäin suuntautuvaa ilmavirtausta.

Tuloilmaventtiilillä riskit vetoon ovat suurimmat. Sisään tuleva ilma on kylmempää kuin muissa ratkaisuissa, eikä välttämättä ehdi lämpiämään ennen laskeutumistaan oleskeluvyöhykkeelle. Tuloilmaikkunaa käytettäessä ilma lämpiää lasien välissä ja sisään tuleva ilma ohjataan yleensä ylöspäin vedon tunteen välttämiseksi. Molemmissa tapauksissa olisi hyvä, jos ikkunan tai venttiilin alapuolella olisi lämmönlähde estämässä konvektiovirtausta.

Tuloilmapatteria käytettäessä ilma johdetaan patterin taakse, josta se kulkeutuu sen lävitse samalla lämmiten. Tuloilmapatteria käytettäessä ei pitäisi syntyä vedon tunnetta.

Tuloilmapatteria mitoittaessa on hyvä kuitenkin ottaa huomioon vuotoilmanvaihto. Jos tämä on suuri, voi radiaattorin lämpöteho jäädä liian pieneksi. Lisäksi on olemassa vaara, että patteri jäätyy lämmitysjärjestelmän toimintahäiriön vuoksi.

2.3.3 Ääni

Suunnitteluratkaisussa on varmistuttava, että ääneneristysvaatimukset täyttyvät myös tuloilmaratkaisulle.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 (SRMK C1) ei ole esitetty täsmällisiä ääneneristysvaatimuksia rakenneosille, vaan vaatimus on esitetty yleisesti:

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu, jolle rakennuksessa tai sen läheisyydessä altistuvat, pysyy niin alhaisena, ettei se vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa”.

Sisäilmastoluokitus 2008 (LVI 05-10440 Sisäilmaluokitus 2008) antaa seuraavat ohjearvot sisäilmastoluokalle 3:

asuinhuoneissa on ohjeena, että ulkoa kantautuvasta melusta aiheutuva melutaso sisällä alittaa melun A-painotetun ekvivalenttitason (L_{Aeq}) päiväohjearvon (klo 7-22) 35dB ja yöohjearvon (klo 22-7) 30dB. Opetustiloissa sovelletaan ohjearvoa 35dB sekä neuvottelu- ja toimistotiloissa arvoa 40dB

Lisäksi kunnat saattavat jollain alueilla esittää vaatimuksia ulkoseinän osien ääneneristävyydelle kaavamerkinnoissa tai – vaatimuksissa. Tällaisia alueita ovat muun muassa suurten liikenneväylien ympäristöt ja lentomelualueet.

Tuloilmalaitteiden ääneneristävyys tasot eivät vastaa tiiviin rakenteen äänenvaimennustasoja. Tuloilmalaittevalmistajat tarjoavat kuitenkin laitteisiinsa äänenvaimentimia, joiden tulisi varmistaa riittävät äänenvaimennustasot. Meluisten alueiden läheisyydessä tulee kuitenkin erikseen varmistaa riittävä vaimennustaso ennen suunnittelun jatkamista.

2.3.4 Ilmanlaatu

Suunnitteluratkaisussa on varmistuttava, että tuloilman suodatusta koskevat määräykset ja ohjeet (SRMK, osa D2, kohta 3.3) täyttyvät myös tuloilmalaitteelle.

SRMK osassa D2 luvussa 3.3 todetaan:

”.3.3.1 Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Oleskelutilojen tuloilma on yleensä suodatettava.”

”3.3.1.1 tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimien erotusaste on vähintään 80 % 1,0 μm :n hiukkasilla suodattimen käyttöön aikana. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on F7.”

”3.3.1.2 Taajama- ja teollisuusalueiden ulkopuolella sijaitsevien rakennusten tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimena on vähintään karkea suodatin. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on G4.”

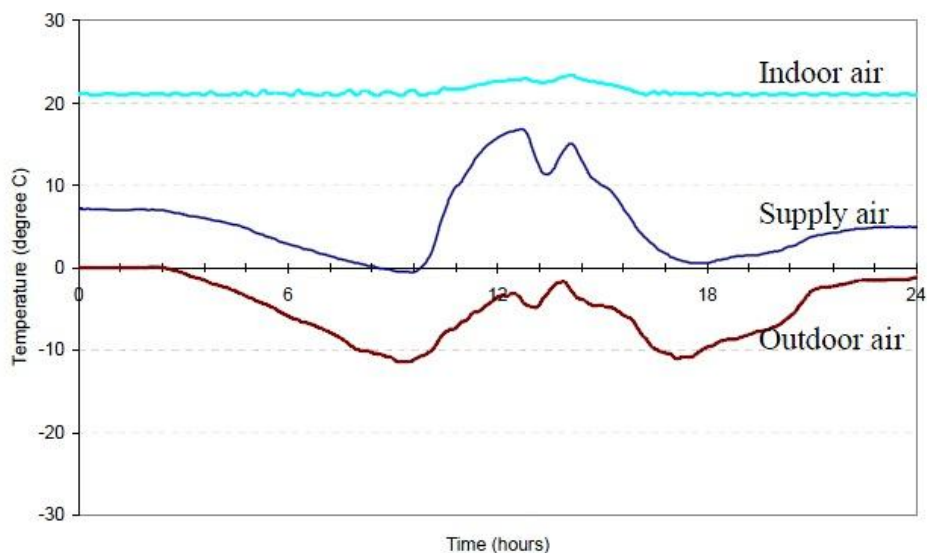
Tuloilmalaitteet sisältävät yleensä suodattimen, joka on luokkaa F7. Joissakin malleissa on valittavana vielä lisäksi allergiasuodatin tai parempi EU-9 luokan suodatin.

2.3.5 Tuloilmaikkunan energiatehokkuus

Tuloilmaikkunaa käytettäessä sisään tuleva ilma lämpiää ikkunan puitteiden välisessä tilassa sisältä tulevan johtumisen ja auringon valon vaikutuksesta. Lämpöhäviöitä esittäessä voidaan käyttää lämpenemissuhdetta ε tai korjattua U-arvoa.

Rakennusmääräykset eivät kuitenkaan tunne tuloilmaikkunaa lämmöntalteenottolaitteena, joten tuloilman lämpenemistä ei voida ottaa huomioon laskelmissa.

Lisäksi tuloilman lämpötila ja lämpenemissuhde vaihtelevat jatkuvasti.



KUVA 12. Korvausilman lämpeneminen tuloilmaikkunassa tyypillisenä talvipäivänä. (Heimonen & Hemmilä, 2006)

Tuloilmaikkunan energiatehokkuuteen vaikuttavat seuraavat asiat:

(Heimonen & Hemmilä, 2006)

- Ilmavirta
 - Mitä suurempi ilmavirta rakenteen läpi otetaan huonetilaan, sitä vähemmän ilmavirta lämpenee. Toisaalta taas ilmavirran mukana siirtyvä lämpövirta kasvaa eli häviöitä otetaan enemmän talteen.
- Ilman kulkureitti
 - Ilman virtausreittien suunnittelulla vaikutetaan ilmavirtojen nopeuksiin ja pyörteisyyteen. Näillä on taas vaikutusta lämmönsiirtymisen tehokkuuteen.
- Ikkunan pinta-ala
 - Ikkuna pinta-alan kasvattaminen suurentaa yleensä lämpenemissuhdetta.
- Ikkunan muoto
 - Ikkunan muoto ja virtausreittien sijainti vaikuttavat ilmavirran kulkemaan matkaan ja siksi vaikuttavat myös lämpenemissuhteeseen
- Sisä- ja ulkopuitteen lämmöneristävyys
 - Mitä huonompi sisäpuolen lämmöneristävyys, sitä parempi on esilämpeneminen rakenteessa. Toisaalta mitä huonompi eristävyys, sitä kylmempi on lasin sisäpinta.
- Valoaukon suhde kokonaispinta-alaan

2.3.6 Korvausilma yleisissä tiloissa

Yleisissä tiloissa korvausilma voidaan ottaa ulko-ovien korvausilmasäleiköllä tai erillisillä korvausilmaventtiileillä. Rakennuksen sijainti ja maasto voivat aiheuttaa ongelmia korvausilma venttiileiden sijoituksessa. Yleisissä tiloissa vaatimukset vedon ja lämpöviihtyvyyden suhteen ovat alhaisemmat kuin asuintiloissa. Myös yleisissä tiloissa tulisi välttää tulo- ja poistovenktiilin sijoittamista samaan tilaan hyvän ilmanvaihtuvuuden aikaansaamiseksi.

Yleisten tilojen ilmanvaihto voidaan myös toteuttaa erikseen pienemmällä tulo-poisto koneella. Tämä tosin lisää kustannuksia.

2.3.7 Käytön ohjeistus

Tuloilmalaitteiden käyttö on ohjeistettava asianmukaisella tavalla. Mikäli esimerkiksi tuloilmaikkunassa on toiminto, jota käytettäessä sisälle tuleva ilma otetaan suoraan ul-

koa eikä lasien välistä, ohjeistuksella on varmistettava, että toimintoa käytetään ainoastaan lämmityskauden ulkopuolella. Tuloilmalaitteen suodattimien vaihto sekä ilmanvaihtoreittien puhdistus on ohjeistettava ja tarvittaessa varmistettava huolto ammattilaisilla.

2.4 Lämmönjako

2.4.1 Lämpötilat

Lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa ohjataan ulkoilman lämpötilan mukaan. Lämmitysjärjestelmän toimivuuden kannalta tärkeimmät valinnat ovat menoveden mitoituslämpötila ja verkoston mitoituslämpötilaero. Perinteisesti menoveden lämpötila on ollut 70°C ja mitoituslämpötilaerona on yleisesti käytetty 30°C.

Nykyään käytetään myös matalalämpöjärjestelmiä jossa menoveden lämpötila on 45°C ja mitoituslämpötilaerona 10°C

Mitä suurempi lämpötilaero on, sen pienemmällä putkilla tullaan toimeen, mutta vastaavasti patterin keskilämpötilan laskiessa samaan lämpötehoon tarvittava patteripinta kasvaa. Verkoston lämpötilojen valinta ei ole kuitenkaan näin suoraviivainen kysymys, eikä lämpötiloja voida valita pelkästään patteripinta-alan ja putkimitoituksen perusteella.

Patteriverkoston alhaisella yllälämpötilalla on seuraavia myönteisiä vaikutuksia:

- matalalämpöisiä lämmönlähteitä voidaan hyödyntää paremmin
- kaukolämpövettä voidaan jäähdyttää tehokkaammin
- lämmönsiirtoputkistojen lämpöhäviöt pienevät
- termostaattisten patteriventtiilien toiminta paranee, koska lämmönjohtuminen anturiosaan vähenee

Yllälämpötilan laskemisella on myös seuraavia kielteisiä vaikutuksia:

- patterikoot kasvavat ja hankintakustannukset nousevat
- vectoriski kasvaa alhaisen patterin lämpötilan myötä
- korroosio kasvaa, koska hapen liukoisuus veteen kasvaa

Meno- ja paluuv veden lämpötilaerotus on samalla tavoin monitahoinen kysymys kuin verkoston yllälämpötila. Suuri lämpötilaero pienentää putkikokoa, mutta suurentaa patte-

rikokoa. Vesivirtojen kannalta suuri lämpötilaero ei kuitenkaan ole eduksi, koska niiden säätö vaikeutuu sitä enemmän, mitä suuremmaksi meno- ja paluuveden lämpötilaero kasvaa. (Seppänen, 2001.163-164)

Lattialämmitysjärjestelmässä lattian pintamateriaali vaikuttaa meno- ja paluuveden lämpötiloihin. Puu- ja parkettilattioilla yleensä korkeintaan 40/33 °C ja muilla materiaaleilla riittää 35/28 °C. Märkätilojen lattialämmityksen mahdollistamiseksi kesäaikana menoveden lämpötilan ei tulisi laskea alle 27 °C:n mukavuussyistä. Näin lämmitysverkoston menoveden lämpötila vaihtelisi esimerkiksi 45°C ja 27°C välillä ulkolämpötilasta riippuen. (Kurnitski, 2012)

Menoveden lämpötila ja mitoituslämpötilaero vaikuttavat poistoilmalämpöpumpun lämpökertoimeen. Mitä alhaisempi menoveden lämpötila ja mitoituslämpötilaero ovat, sitä paremmalla hyötysuhteella pumppu pystyy tuottamaan lämpöä.

2.4.2 Lattialämmitys

Lattialämmitys on yleisin lämmitysratkaisu uusissa pientaloissa. Kerrostaloissa lattialämmitys on taas harvinaisempi ratkaisu. Lämmitysputket voidaan valaa välipohjaan tai käyttää niin sanottua kuivaa ja kevyttä lattialämmitystä, jossa putket asennetaan välipohjalaatan päälle tulevaan asennuslevyyn. Kevyt lattialämmitys takaa nopean säädettävyyden ja helpottaa järjestelmän tasapainotusta ja toimintaa. Hyvin eristetyissä taloissa pitää ottaa huomioon, että lattialämmitetyt lattiat jäävät viileiksi pienestä lämmitystarpeesta johtuen. Tämän vuoksi voidaan puu- ja parkettilattioiden yhteydessä karsia lattialämmityspiirien pinta-alaa ja toteuttaa lämmityskaistat vain ulkoseinien viereen. Lattialämmityksen lämmönluovutusta säätelevät lattian pintamateriaali, putkiväli ja meno- ja paluuveden mitoituslämpötilat. Maksimiputkiväli lattian pinalämpötilan tasaisuuden kannalta on noin 25 cm. (Kurnitski, 2012)

Lattialämmitystä säädetään huonetermostaatilla, jonka lämpötila-anturi voi mitata huonelämpötilaa, lattian lämpötilaa tai molempia. Viimeisessä tapauksessa huonelämpötilaa ohjataan ilman lämpötilan perusteella, mutta lattia-anturi estää lattiapinnan liiallisen jäähtymisen tai ylikuumenemisen lämpötilarajojen asetusarvojen mukaisesti. Käytettävän säätimen tyypistä riippuen säätö voidaan toteuttaa joko on-off- tai integroivana PI-tyyppisenä, vaikka toimilaitteena on kummassakin tapauksessa jakotukissa virtaamaa säättävä on-off- tyyppinen toimilaite. PI -säätö ottaa huomioon lämpötilan poikkeaman

suuruuden asetusarvosta, ja PI- säädin ohjaa on-off- tyyppistä toimilaitetta jaksoittaisesti säätimen laskemalla taajuudella. PI- säätimistä on etua erityisesti raskaan lattiarakenteen yhteydessä, koska se on suuren lämpökapasiteettinsa ansiosta vaikeasti säädettävä. PI-säädin parantaa tällöin olennaisesti huonelämpötilan säätötarkkuutta. (Kurnitski, 2012)

Lämpöpumpun hyötysuhteen kannalta lattialämmitys on paras ratkaisu, johtuen alhaisesta menoveden lämpötilasta ja lämpötilaerosta.

2.4.3 Kaksiputkijärjestelmä

Kaksiputkijärjestelmä on yleisin käytössä oleva lämmönjakotapa kerrostaloissa.

Runkojohdot kulkevat yleensä alimmassa kerroksessa ja sieltä ne jakaantuvat seinien viereisille pystynousuille, joihin patterit kytketään. Ratkaisussa vesi kiertää aina pystynousuissa lämmitystarpeesta riippumatta ja huolimatta siitä, katkaiseeko patteritermostaatti kierron patterissa huonelämpötilan asetusarvon ylityttyä. Tästä syntyy turhia putkistojen lämpöhäviöitä, jotka voivat yllilämmittää rakennusta ja heikentää lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta.

Patteriventtiileiden kohinaa ja asumisesta syntyvien äänten etenemistä lämmitysverkon kautta huoneistosta toiseen voidaan vähentää käyttämällä kumirengastiivistein varustettuja liittimiä patterissa.

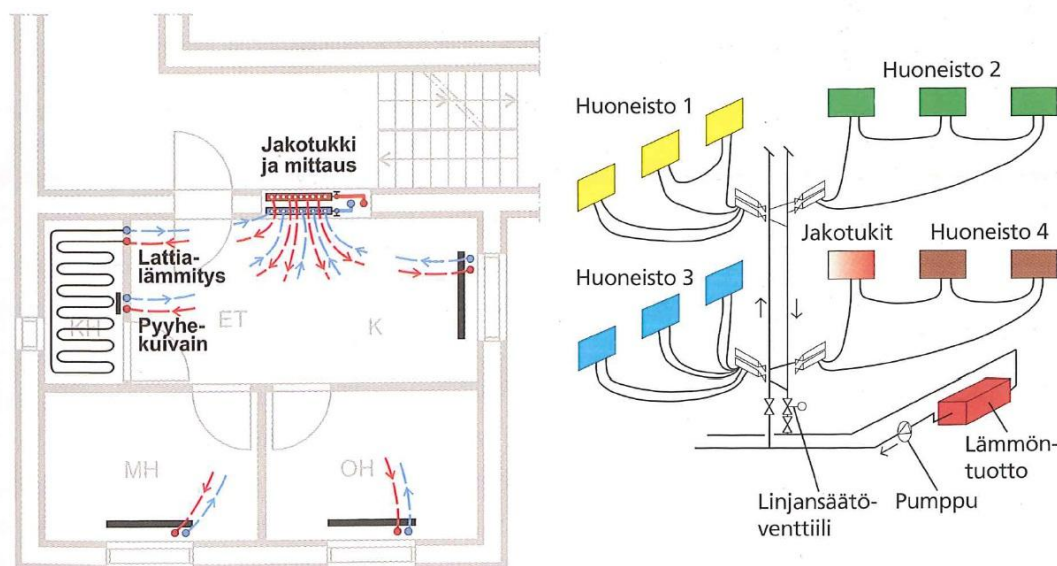
Kaksiputkijärjestelmä ei ole riippuvainen välipohjan toteuttamistavasta ja se on kaikin yksinkertaisin ja halvin tapa hoitaa lämmönjako vesikiertoisesti kerrostalossa.

2.4.4 Jakotukkijärjestelmä

Kerrostaloissa voidaan käyttää myös huoneistokohtaisia jakotukkeja: Tässä järjestelmässä lämpö jaetaan yleensä käytävällä sijaitsevilta jakotukeilta muoviputkia pitkin pattereille. Runko- ja kytkentäjohdot on eristetty lämpöhäviöiden vähentämiseksi ja hyötysuhteen parantamiseksi. KytKentäjohtojen eristysten riittävyyteen on kiinnitettävä huomiota jotta vältetään asuntojen yllilämpenemiseltä.

Matalalämpöjärjestelmiä käytettäessä voidaan samaan jakotukkiin kytkeä myös märkätilojen lattialämmitys. Näin sama vesi kiertää pattereissa ja lattialämmityspiireissä. Pattereissa sijaitsevat termostaatit sulkevat kierron jakotukilta lähtevältä johdolta, jos tilassa ei tarvita lämmitystä. Näin lämmöt voidaan pitää päällä kesäaikanakin märkätilojen

lämmittämiseksi. Jakotukkijärjestelmää käytettäessä voidaan kytkentäjohdot tuoda seinällä olevaan kytkentärasiaan. Näin patterit voidaan asentaa sisäviimeistelytöiden sopivassa vaiheessa häiritsemättä esimerkiksi parketin tai muovimaton asentamista. Jakotukkijärjestelmä voidaan toteuttaa kun, välipohjat toteutetaan paikallaan valuna tai ohuella ontelolaatalla ja pintavalulla.



KUVA 13. Patterilämmityksen toteutus jakotukeilla kerrostaloissa. (Kurnitski, 2012)

2.4.5 Märkätilojen lämmitys

Märkätilojen lattiamateriaalina voi olla muovi tai nykyään yleistynyt laattalattia. Laattalattian neutraalipintalämpötila on noin 27 °C, jolloin lattiapintaa ei aistita viileäksi eikä myöskään lämpimäksi. Märkätiloissa tämä saavutetaan lattialämmityksellä, kun huonelämpötila on noin 23 °C, mikä on järkevä suunnittelun lähtökohta (SRMK D2 ohjearvo 22°C). (Kurnitski, 2012)

Lämpöaistimusten ja rakenteiden kuivumisen varmistamiseksi laattalattiat tarvitsevat aina lattialämmityksen. Muovimattoja käytettäessä lattialämmitys ei ole välttämätön.

Märkätilojen lattialämmitys voidaan hoitaa vesikiertoisesti tai sähköisesti.

Kaksiputkijärjestelmää käytettäessä on märkätiloihin asennettava muovimatto, sähköinen lattialämmitys tai rakennettava erillinen märkätilojen lämmitysverkosto.

Muovimatto koetaan kuitenkin monissa uusissa rakennuksissa vaatimattomaksi materiaaliksi kylpyhuoneisiin eikä sitä suosita varsinkaan omistusasunnoissa. Sähköinen lattialämmitys taas lisää merkittävästi sähköenergiankulutusta ja kasvattaa E-luku arvoa.

Se on kuitenkin edullinen ja helppo asentaa. Erillinen märkätilojen lämmitysverkosto kasvattaisi lämpöhäviöitä ja lisäisi kuluja huomattavasti.

Lattialämmitystä tai jakotukijärjestelmää käytettäessä vesi kiertää lämmityksen runkoverkkoa pitkin jakotukeille ja sieltä kytkentäjohtoja pitkin märkätiloihin.

Poistoilmalämpöpumppua käytettäessä on järkevää suosia vesikiertoista lattialämmitystä. Näin saadaan parannettua pumpun hyötysuhdetta ja alennettua lämmityksen käyttökustannuksia.

3 KESÄAJAN LÄMPÖTILAHALLINTA

1.7.2012 voimaan tullessa rakennusmääräyskokoelman osassa D3 (SRMK D3) tuli uutena vaatimuksena kesäajan lämpötilahallinta.

SRMK:n D3:n kohta 2.2 määrittelee seuraavaa:

” 2.2.1 Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Tilojen yllälämpenemisen estämiseksi käytetään ensisijaisesti rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa.”

”2.2.3.1 Kesäajan huonelämpötilan lämpötilalaskennat tehdään tilatyypeille, joissa on eniten lämpökuormia, esimerkiksi etelä- tai länsijulkisivujen tilat tai pienet asunnot, suurilla lasipinnoilla varustetut tilat tai suuren laitekuorman tilat. Asuinkerrostaloissa tehdään lämpötilalaskennat vähintään yhdelle lämpökuormiltaan suurimmalle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. Muissa rakennuksissa tehdään lämpötilalaskennat tyypittiloille, esimerkiksi toimistohuone, avotoimisto, neuvotteluhuone, opetustila, valitsemalla tilatyypin edustajaksi edellä mainittuja ominaisuuksia vastaava tila.”

Kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa 27°C enemmän kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana säävyöhykkeen I säätiedoilla, standardikäytön sisäisillä lämpökuormilla ja suunnitelluilla ilmamäärillä laskettuna.

Poistoilmalämpöpumppua käytettäessä ei voida käyttää tuloilman jäähdytystä, joten passiiviseen auringonsuojaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jos luonnossuunnittelu vaiheessa todetaan passiivinen suojaus ja yöjäähdytys riittämättömäksi ratkaisuksi ei lämmöntalteenottoa voida suunnitella PILP:llä toteutettavaksi.

Tehokkaimmiksi ja toteuttamiskelpoisimmiksi auringonsuojaratkaisujen yhdistelmäksi on todettu ikkunoiden g-arvon pienentäminen, sälekaihtimet tai vaalea suojaverho yhdistettynä IV:n tehostukseen ja yötuuletukseen (Vesterinen, 2012). On hyvä huomioida g-arvon pienentymisen vähentävän auringosta saatavaa ilmaislämpöä muina vuoden aikoina.

4 ENERGIANKÄYTÖN MITTAUS

SRMK D3 edellyttää, että rakennukset varustetaan energiankäytön mittauksella tai mittausvalmiudella siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö voidaan helposti selvittää. Mittauksista voidaan luopua, jos mittauksen tai mittausvalmiuden rakentaminen voidaan osoittaa epätarkoituksen mukaiseksi.

Rakennus tulee varustaa sähkönmittauksella, jotta saadaan tietoa rakennuksen koko sähköenergian kulutuksesta. Lisäksi tulee mitata ilmanvaihdon puhaltimien ja PILP:n sähkönkulutus.

Rakennukset varustetaan lämmitysjärjestelmän ostoenergian kulutuksen mittauksella. Myös PILP:ltä saatavan lämmön määrä tulee mitata, jotta saadaan tietoa paljonko pumppu tuottamaan käytännössä lämpöä ja paljonko sähköä lämmön tuottamiseen kuuluu. Näin pystytään määrittämään pumpulle todellinen hyötysuhde (SPF). On myös hyvä mitata paljonko PILP:n tuottamasta lämmöstä menee hyötykäyttöön ja paljonko häviöihin.

Lattialämmitystä tai jakotukkijärjestelmää käytettäessä voidaan lisäksi mitata huoneisto-kohtainen lämmönkulutus jakotukkiin sijoitettavalta mittarilta.

Lisäksi lämpimän käyttöveden kulutus on mitattava.

5 KUSTANNUSVAIKUTUKSET

5.1 Investoinnit

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan investointikustannuksia perinteisellä tulo-poistokoneella toteutettua ratkaisulla ja poistoilmalämpöpumppuratkaisulla.

5.1.1 Perinteinen tulo-poisto ilmanvaihtokone

Perinteisessä tulo-poisto ilmanvaihtokoneessa suurimmat investoinnit muodostavat IV-koneesta ja IV-konehuoneesta. Case- kohteessa kustannuksiksi arvioitiin IV-koneen osalta 33 000 € ja konehuoneen osalta 42 000 €

5.1.2 Poistoilmalämpöpumppu

PILP:ä käytettäessä suurimmat kustannukset syntyvät kattoyksiköstä ja pumpusta.

Hinnat vaihtelevat pumpun tehosta ja kattoyksikön mallista riippuen. Seuraava hinta-arvio sisältää kaikki laitteistoon liittyvät laitteet, sekä asennuksen putki- ja sähkötyöneen. PILP- laitteiston hinta arvioksi muodostui 85 000 €

5.1.3 Kanavisto ja sen laitteet

Poistoilmalämpöpumppua: käytettäessä ei tarvita tulokanavistoa toisin kuin tulo-poistojärjestelmässä.

Kanavistosta ja sen laitteiden pois jäämisestä syntyy kustannussäästöjä käytettäessä PILP:ä. Kustannuksia on laskettu massalistojen ja Ecom- tarjouslaskentaohjelman avulla. Kustannussäästökseksi arvioitiin 52 000 €

5.1.4 Varaajat ja apulaitteet

Varaajien hintoja voidaan vertailla helposti vaikkapa verkkokaupoissa.

Toisaalta PILP-järjestelmän toimitus saattaa jo sisältää tarvittavat varaajat ja apulaitteet. Vesivaraajan koko ei vaikuta merkittävästi kokonaiskustannuksiin. Esimerkiksi 1000 litran varaajan vaihtaminen 3000 litran varaajaan lisää kustannuksia noin 1000 €

5.1.5 Pinta-ala ja alaslaskut

Käytettäessä PILP-järjestelmää ei tarvita tulokanavistoa ja niiden pois jääminen pienentää hormoneja tai jättää osan niistä kokonaan tarpeettomiksi. Myös alaslaskujen tarve asunnoissa vähenee. Näin saadaan lisää myytävää asuinpinta-alaa ja tilat tulevat avarammiksi.

Kyseisessä tapauksessa pystyttiin luopumaan kahdesta Elpo-hormista. Tästä saatiin säästöjä 5000 € Lattiapinta-ala lisääntyi 2 m². Alaslaskujen tarve väheni 47 %.

5.1.6 Sähkö- ja kaukolämpöliittymät

PILP käyttää sähköenergiaa ottaessaan lämpöä talteen poistoilmasta. Tämä lisää ilmanvaihdon lämmöntalteenoton sähkönkulutusta verrattuna perinteiseen LTO-ratkaisuun, vaikkakin huomioitaisiin lämmöntalteenoton sähköinen esilämmitysvastuskin. Sähköliittymän liittymismaksu riippuu pääsulakkeiden koosta.

Perustoteutusratkaisussa kohteen sähkö sähköliittymän pääsulakkeiden kooksi tuli 3 x 250A. PILP- ratkaisussa pääsulakkeiden koot pysyivät samana koska PILP:n käyttämä sähköteho oli pieni verrattuna koko rakennuksen sähkötehoon.

PILP:n osuus sähkötehon mitoitukseen arvioitiin seuraavalla kaavalla:

$$\text{PILP maksimiteho } 10\text{kW} \times 1,44 = 14,4 \text{ A} \quad (2)$$

Jos kohteen sähköliittymän pääsulakkeiden koko on lähellä raja-arvoa voi sähkövirran kasvu muuttaa pääsulakkeiden kokoa isommaksi.

Laskelmassa olevat sähkönliittymismaksut on saatu Helsingin energian, Tampereen sähkölaitoksen ja Jyväskylän energian hinnastoista. (Helsingin energia, sähköverkko; Jyväskylän energia, sähköverkko; Tampereen sähkölaitos, sähköverkko)

TAULUKKO 5. Sähkön liittymismaksut paikkakunnittain

Sähkøyhtiø	Påsulakkeiden koko	Liittymismaksu
Helsingin energia	3 x 250 A	11843 €
Tampereen sähkølaitos	3 x 250 A	10024 €
Jyväskylän energia	3 x 250 A	14735 €

Kaukolämmönliittymismaksu- ja johtomaksu vaihtelee riippuen kaukolämmön toimittajasta ja liittymän etäisyydestä runkoverkosta. Lisäksi tulevat energiamaksu ja sopimusvesivirtamaksu, joka riippuu lämmityksen huipputehon tarpeesta.

Kaukolämpöliittymän tilausteho kasvaa käytettäessä PILP:ä, koska kylmimpänä aikana lämmöntalteenotto ei pysty toimimaan yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin tulo- poistojärjestelmän LTO.

Lämmitystehot mitoitus tilanteissa on saatu E-luku laskelmista ja PILP:n lämmitystehona käytetään 28,8 kW:a.

Laskelmassa olevat hinnat ovat Helsingin energian, Tampereen sähkölaitoksen ja Jyväskylän energian hinnastoista löytyviä tietoja. (Helsingin energia, kaukolämpö; Jyväskylän energia, kaukolämpö; Tampereen sähkölaitos, kaukolämpö)

TAULUKKO 6. Tilausvesivirta toteutus ratkaisuittain

Toteutus ratkaisu	Lämmitysteho mitoitus tilanteessa	Tilausvesivirta
Perus	60 kW	0,20 l/s 0,73 m ³ /h
PILP	107 kW	0,36 l/s 1,30 m ³ /h

TAULUKKO 7. Tilausvesivirran vaikutus kaukolämmönliittymismaksuun

Toimittaja	Ratkaisu	Perusmaksu €	Vesivirta	Hinta €
HE	Perus	2728	5592,4 €/m ³	6810
HE	PILP	2728	5592,4 €/m ³	9998
TS	Perus	0	6448 €	6448
TS	PILP	0	11284 €	11284
JE	Perus	0	16121 €	16121
JE	PILP	0	18538 €	18538

5.2 Käyttökustannukset

5.2.1 Kaukolämpö

PILP-järjestelmää käytettäessä kaukolämmön energiankulutus vuoden aikana vähenee, koska lämpimämpänä aikana järjestelmästä saadaan huomattavasti lämpöä talteen ja lämpöpumppu pystyy toimimaan yksinään rakennuksen lämmitysjärjestelmänä. Vuoden kylmimpään aikaan taas kaukolämmön energian kulutus kasvaa, koska PILP ei pysty toimimaan yhtä hyvällä lämmöntalteenoton hyötysuhteella kuin IV-koneen LTO-patteri. Kaukolämmön energiankulutus hinnoitellaan joko kiinteänä tai kausiluontoisesti. Muutamat yhtiöt ovat jo siirtyneet kausihinnoitteluun jolloin suurimman kysynnän aikaan energiamaksu on suurempi ja pienen kulutuksen aikana pienempi. Helsingin energia ja Tampereen sähkölaitos käyttävät kumpikin kausihinnoitteluun perustuvaa mallia. Jyväskylän energia hinnoittelee kaukolämmön kiinteällä. Lisäksi tulee kuukausittainen perusmaksu joka riippuu tilausvesivirrasta. Hinnoittelu taulukoissa 8, 9 ja 10, sekä perusmaksu taulukossa 11. Lisälämmityksen jakaantumista kuukausittain on arvioitu taulukossa 12.

TAULUKKO 8. Energiamaksut kausittain, Helsingin energia

aikajakso	Hinta €/MWh
toukokuu - lokakuu	31,83
marraskuu – joulukuu	54,16
tammikuu – helmikuu	59,04
maaliskuu - huhtikuu	54,16

TAULUKKO 9. Energiamaksut kuukausittain, Tampereen sähkölaitos

aikajakso	Hinta €/MWh
joulukuu – helmikuu	76,25
maaliskuu – toukokuu	69,32
kesäkuu – elokuu	55,45
syyskuu-marraskuu	69,32

TAULUKKO 10. Energiamaksu, Jyväskylän energia

aikajakso	Hinta €/MWh
vuosi	58,12

TAULUKKO 11. Perusmaksu kuukausittain tilausvesivirroittain

Toimittaja	Ratkaisu	hinta €/ kk
HE	Perus	189,54
HE	PILP	319,54
TS	Perus	164
TS	PILP	239
JE	Perus	121,93
JE	PILP	208,73

TAULUKKO 12. Lisälämmityksen arvioitu jakaantuminen kuukausittain

Kuukausi	Osuus lisälämmityksestä %
Tammikuu	29
Helmikuu	27
Maaliskuu	14
Marras	4
Joulu	26

5.2.2 Sähkö

Poistoilmalämpöpumpun käyttäessä sähkönkulutus lisääntyy voimakkaasti. Sähkön energian kokonaishinta muodostuu sähkön hinnasta, sähkön siirtomaksusta, mahdollisista kausi- tai tehomaksuista sekä veroista. Sähkön hinta vaihtelee sähköyhtiöittäin ja se on mahdollista kilpailuttaa. Sähkön siirtohintaa on riippuvainen paikallisesta sähkönjakelijasta, eikä tätä voi kilpailuttaa. Yleisesti voidaan todeta, että asiakas jonka sähkönkulutus on suurta, saa sähköä halvemmalla kuin tavallinen yksityisasiakas. Energiainfo markkinaviraston sähkönhintatilastosta (Energiainfo markkinavirasto, 2013) ei löydy suoraan hintatilastoja kerrostalolle. Tilastosta löytyy kuitenkin maatila (vuosikulutus 30 000 kWh), jonka perusteella sähkön hintaa voidaan arvioida, vaikkakin kulutus jää pienemmäksi kuin PILP:ä hyödyntävässä kerrostalossa. Tilastojen mukaan arvioitu sähkön kokonaishinta veroineen on kerrostaloyhtiölle noin 11-13 senttiä/kWh. Hinnat vaihtelevat

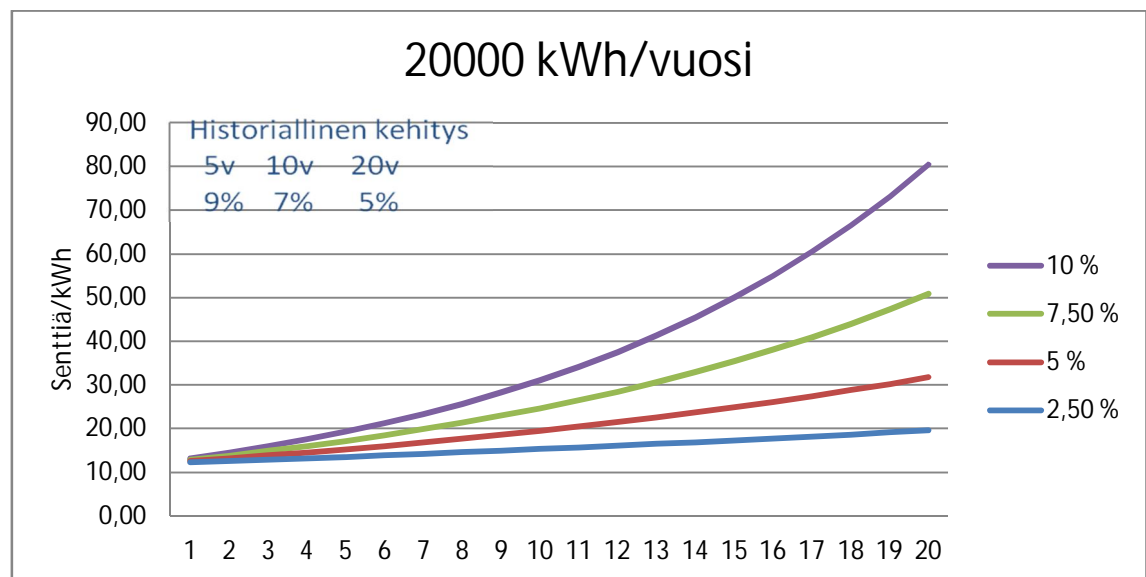
kuitenkin alueittain johtuen siirtomaksuista. Laskelmissa hintana on käytetty 12 senttiä/kWh.

5.2.3 Huoltokustannukset

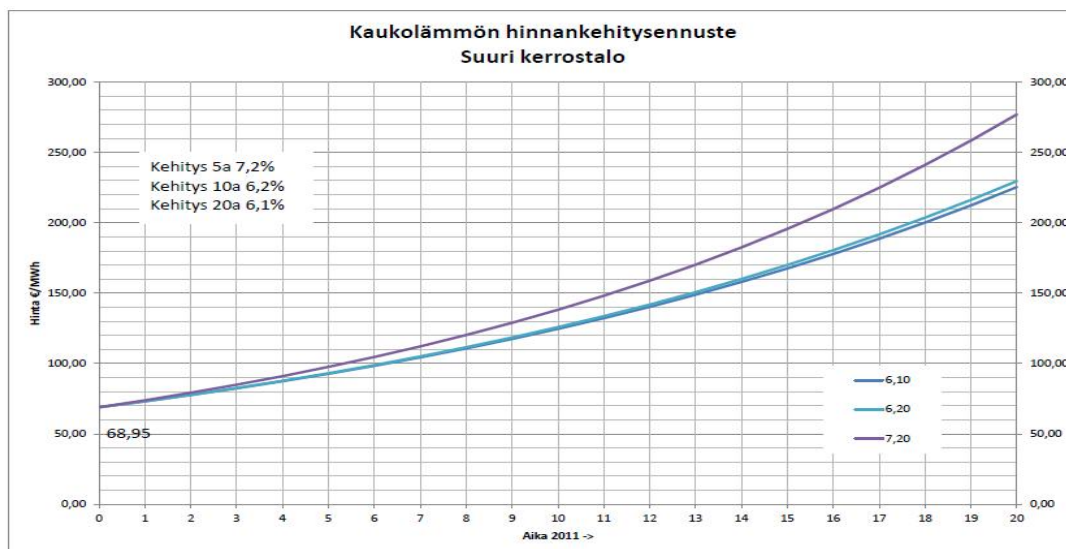
Huoltokustannuksiltaan järjestelmät eivät juuri poikkea toisistaan. Poistoilmalämpöpumpun kompressorin vaihdetaan kymmenen vuoden välein varotoimenä ja sen hinta on muutama tuhat euroa. Lisäksi, jos korvausilmalaitteiden suodattimien vaihto toteutetaan huoltoyhtiön toimesta, on nämä kulut huomioitava.

5.2.4 Kustannukset tulevaisuudessa

Sähkön ja kaukolämmön hintoja tulevaisuudessa on vaikea ennustaa, mutta seuraavat kuvat esittävät hintojen kehittymistä erilaisilla vuosikustannusten nousuilla.



KUVA 14. Sähkönhinnan kehitysennuste



KUVA 15. Kaukolämmön hinnankehitysennuste

Muutamat kaukolämpötoimittajat ovat jo siirtyneet kausikohtaiseen energiakulutuksen hinnoitteluun. Tulevaisuudessa suuntana näyttää olevan, että yhä useampi kaukolämmöntoimittaja siirtyy kausikohtaiseen laskutukseen. (ÅF-Consult, 2012)

Käytettäessä PILP:ä lämmöntuotantoon tarvitaan ostoenergiaa vain kolmasosa verrattuna kaukolämmitykseen. PILP lämmitys toimii näin tehokkaammin lämmityskustannusten nousua vastaan. Jos sähkön hinta nousisi 10 %, PILP:llä tuotetun lämmön hinta nousisi vain noin kolmasosan. Jos vastaavasti kaukolämmön hinta nousisi, olisi kustannusten nousu hillitympää PILP-ratkaisulla. Pitkällä aikavälillä PILP- ratkaisun energiakustannukset näyttäisivät olevan vakaammat verrattuna kaukolämmitykseen.

6 ENERGIALASKENTA

Energialaskenta on suoritettu käyttäen apuna www.laskentapalvelut.fi osoitteesta löytyvää energialaskentaohjelmaa. Energialaskenta on suoritettu SRMK D3 ja SRMK D5 luonnoksen määräysten ja ohjeiden mukaan. Kaukolämmöstä otettavan lisälämmityksen energiamäärää on koitettu arvioida Ympäristöministeriön monisteesta 122 (ympäristöministeriö, 2003) löytyvien Ilmatieteen laitoksen testivuoden 1979 Helsingin ulkolämpötilojen pysyvyystietojen mukaan. Kuukausikohtainen lämmitystarpeen arviointi ei antanut riittävää tietoa kaukolämmön tarpeesta huippukulutusten aikana.

Kaukolämmön tarvetta on arvioitu kolmella eri tavalla. Ensimmäinen ottaa huomioon standardikäytöllä laitteista, valaistuksesta, ihmisistä ja häviöistä syntyvän keskimääräisen lämmitystehon sekä auringon säteilystä saatavan tehon ja vähentää tämän huipputehon tarpeesta. Auringon keskimääräiseksi lämmitystehoksi arvioitiin 2,5 kW, joka saatu energiaselvityksen lämpökuormalaskelmista. Lämpökuormien energiamäärä aikajaksolta vähennetään kokonaislämpökuormista. Toinen vaihtoehto ei huomioi lämpökuorman tehoa tehontarpeessa ja lämpökuormat vähennetään kokonaislämmitystarpeesta. Kolmas vaihtoehto on SRMK D5 luonnoksen ohjearvojen mukaan laskettu poistoilmalämpöpumpun tuotto-osuus kokonaislämmitysenergiasta, joka on 69 %. Tässä vaihtoehdossa SPF -lukuna on käytetty 2,4. (Kurnitski,2012). Käyttöveden lämmitys on arvioitu tapahtuvan viitenä kuukautena kaukolämmöllä ja seitsemänä poistoilmalämpöpumpulla.

Kaukolämmön tarpeet on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Kaukolämmöntarve eri laskentatavoilla.

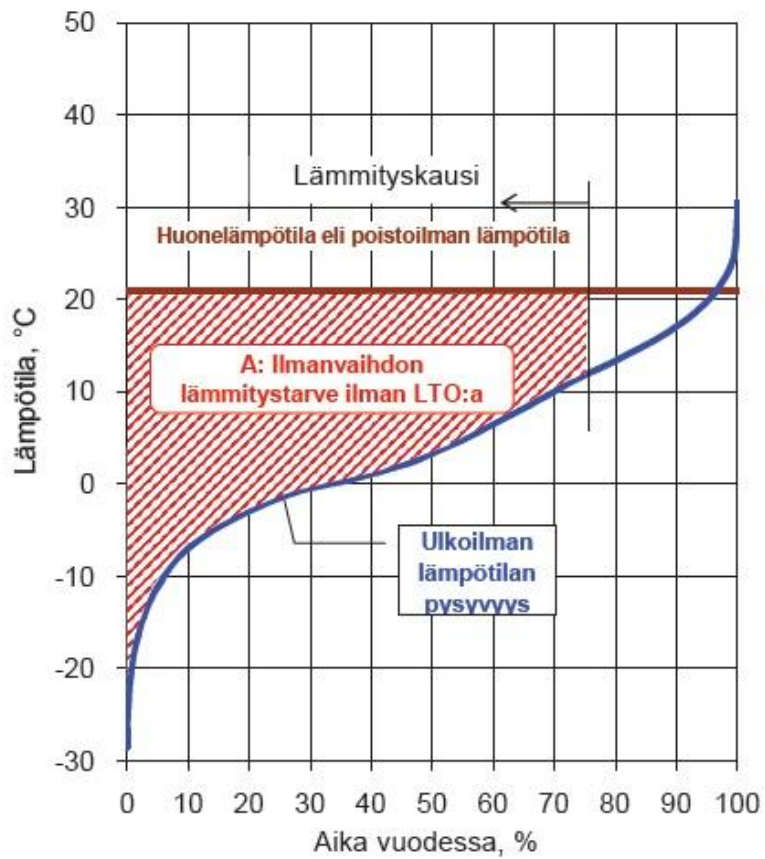
Laskentatapa	Kaukolämmöntarve
Patteri	79752
Patteri,ei kuorma	147730
Lattialämmitys	79752
Lattialämmitys, ei kuorma	147730
PILP 69 % lämmöntarpeesta	75632

Perinteisen ilmanvaihtoratkaisun energiankulutukset ja E-luku saatiin suoraan energialaskentaohjelmasta.

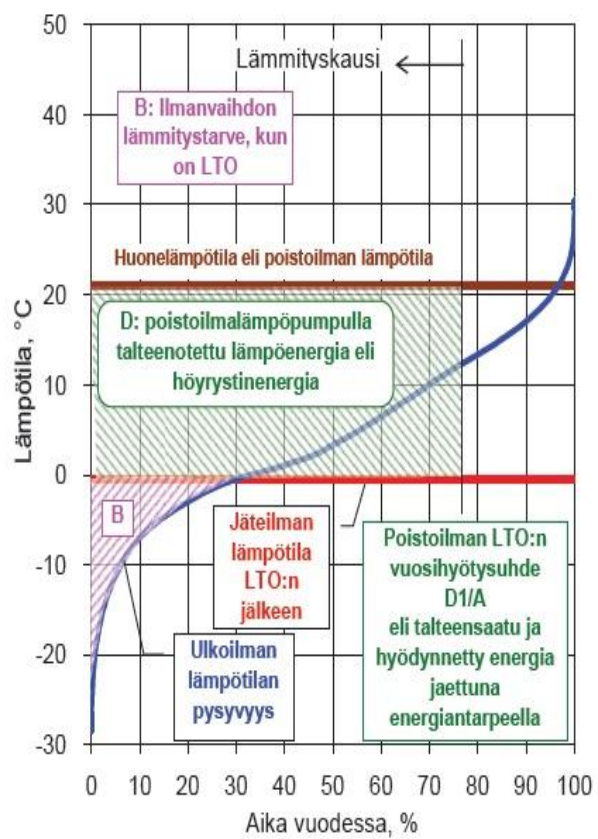
Kiellettyjä keinoja ovat:

- tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioon ottaminen
- tulo- tai poistoilmaikkunan huomioon ottaminen
- talteenotetun lämmön käyttäminen muuhun kuin tuloilman tai tilojen lämmitykseen (ei lämpimän käyttöveden lämmitykseen)
- laitesähkönkulutus, kuten esimerkiksi puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutuksen huomioon ottaminen tasauslaskennassa.

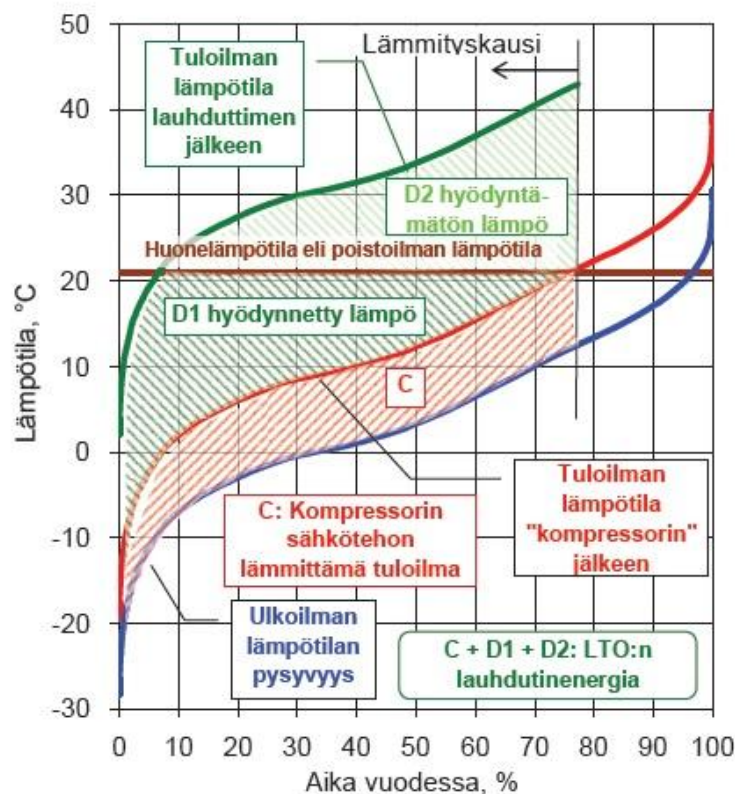
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen tasauslaskentaa varten oli erityisen haastavaa. Ympäristöministeriön monisteella 122, Ilmanvaihdonlämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, (Ympäristöministeriö, 2003) voidaan laskea lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, tämä ei kuitenkaan kaikilta osin sovellu talteenotolle joka on toteutettu poistoilmalämpöpumpulla. Poistoilman lämpötila pysyy vakiona ympärivuoden, joten talteenotetun lämmön määrä pystytään laskemaan. Talteenotettua lämpöä saa kuitenkin käyttää vain tilojen lämmitykseen, eikä lämpimän käyttöveden valmistamiseen. PILP:stä on kuitenkin erittäin vaikea määrittää milloin se lämmittää lämmitysverkkoa ja milloin käyttövettä. Lisäksi kompressorin tuottamaa lämpöä ei oteta huomioon laskelmissa. Seuraavassa on kuvaajien avulla yritetty havainnollistaa miten lämmöntalteenotto tulisi määrittää.



KUVA 17. lämmitystarve ilman LTO:a



KUVA 18. Talteenotettavan lämmön määrä ja lämmöntarve



KUVA 19. Kompressorin sähkötehon huomiointi.

Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisen vaikeudesta kertoo se, ettei ohjetta laskennan suorittamiseksi ole vielä saatu tehtyä valmiiksi.

Jos oletetaan että PILP lämmittää ensin lämmitysverkostoa ja vasta sen jälkeen käyttö- vettä, saadaan vuosihyötysuhteeksi 78,0 % seuraavasta kaavasta 3.

Näin ollen vaatimus, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitse- masta lämpömäärästä täyttyy.

$$\frac{\text{PILP, lauhdutinenergia}}{\text{IV, energiantarve}} \times 100 = \frac{123543 \text{ kWh}}{158353 \text{ kWh}} \times 100 = 78,0 \% \quad (3)$$

Lämmitystarpeita on arvioitu ympäristöministeriön monisteen 122 (Ympäristöministe- riö, 2003), Helsingin ulkolämpötilojen pysyvyystietojen mukaan. Tästä saatujen läm- möntarvemääriä vertailtiin PILP:n tuottamaan lämpömääriin.

Lauhduttimelta talteenotettu energianmäärä on saatu käyttämällä COP :na arvoa 3,6 ja poistoilman lämpötilana -3° C. Lisäksi on yritetty huomioida kompressorin sähkötehon tuottaman lämpö ja lämpö, jota ei voida käyttää hyödyksi tilojen lämmityksessä.

6.2 E-luvun laskenta

Rakennuksen kokonaisenergiankulutusta kutsutaan E-luvuksi. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. Ostoenergia on rakennuksen sähkö, kaukolämpö tai – jäähdytys tai polttoaineen lämpöarvo. (Kurnitski, 2012) E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain ja jakamalla se lämmitetyllä nettoalalla seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\text{E-luku} = \frac{\sum \text{rakennukseen ostettu energia} \times \text{energiamuotojen kerroin}}{\text{lämmitetty nettoala}} \quad (4)$$

Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Energiamuotojen kertoimet (SRMK D3)

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytetyt uusiutuvat polttoaineet	0,5

E-luvun laskennassa käytetään ostoenergian taserajaa. Tämä tarkoittaa, että rakennuksessa tuotettua energiaa ei lasketa kulutukseen vaan kokonaisenergiankulutuksen ratkaisee se, miten paljon energiaa joudutaan ostamaan taserajan yli energiaverkosta tai polttoaineina. Ostoenergian kulutuksen taseraja on esitetty kuvassa 20.



KUVA 20. Ostoenergian kulutuksen taseraja (SRMK D3)

E- luvun laskenta aloitetaan keräämällä lähtötiedot rakennuksen pinta-aloista, rakennesista ja laitteistosta. Tämän jälkeen lasketaan johtumisen ja ilmanvaihdon kokonaisenergian kulutus rakennustyyppin standardikäyttöä vastaavilla huonetilan lämpötiloilla ja ilmanvaihtomäärillä. Lämmitysrajat ja ilmavirrat on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Huonelämpötilan asetusarvot ja ilmamäärät (SRMK D2)

Käyttötarkoitusluokka	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$	Lämmitysraja $^{\circ}\text{C}$	Jäähdytysraja $^{\circ}\text{C}$
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	0,4	21	27
Asuinkerrostalo	0,5	21	27
Toimistorakennus	2	21	25
Liikerakennus	2	18	25
Majoitusliikerakennus	2	21	25
Opetusrakennus ja päiväkot	3	21	25
Liikuntahalli	2	18	25
Sairaala	4	22	25

Seuraavaksi lasketaan sisäiset lämpökuormat standardikäytöllä. Taulukossa 15 on esitetty laskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat nettoalaa kohden. Lisäksi lasketaan auringosta ja lämpimän veden varastoinnista ja kierrosta tulevat lämpöhäviöt.

Sisäisiksi lämpökuormiksi saatiin 144126 kWh.

TAULUKKO 15. Sisäiset lämpökuormat (SRMK D3)

Käyttötarkoitushuokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset ^a
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

Lämpimän käyttöveden tarvitsema nettolämmitysenergia lasketaan käyttämällä asuinrakennuksille määritettyä arvoa $600 \text{ dm}^3 / (\text{m}^2 \text{ a})$, mistä saadaan tulokseksi 70 035 kWh.

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä, korvausilman lämpenemisestä tilassa huonelämpötilaan ja siitä on vähennetty auringon ja sisäisten lämpökuormien vaikutus. Tulokseksi saatiin 133 519 kWh.

Käyttöveden ja tilojen lämmityksessä syntyy häviöitä niin jakelussa kuin lämmön- tuotossa. Nämä häviöt on lisättävä nettoenergiatarpeeseen. Lisäksi on huomioitava jake- lusta syntyvä sähkönkulutus.

Taulukossa 16 on listattu eri lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhteita.

Lämmöntuotannon vuosihyötysuhteena on käytetty 0,97, joka vastaa kaukolämpöä.

Lämmönjaon hyötysuhteena on käytetty 0,85.

Käyttöveden häviöt syntyvät veden siirrosta vesikalusteille ja kiertojohdosta.

Siirron hyötysuhteena on käytetty 0,97 ja kiertojohdon häviöiksi on laskettu 7374 kWh, oletuksena että johdon eristyspaksuus on 1,5D ja käytössä on yksi 200 Watin kierto- vesipatteri.

Tilojen lämmityksen ostoenergiaksi saatiin 161 939 kWh.

Käyttöveden lämmittämisen ostoenergiaksi saatiin 82 036 kWh.

TAULUKKO 16. Lämmönjaon ja – luovutuksen vuosihyötysuhteita ja sähkönkulutuksia. (SRMK D5 luonnos)

Lämmitysratkaisu	Vuosihyötysuhde η_{tilat} -	Sähkö e_{tilat} kWh/(m ² a)
Vesiradiaattori 45/35 °C		
jakojohtot eristetty	0,90	2
jakojohtot eristämätön	0,85	
Vesiradiaattori 70/40 °C		
jakojohtot eristetty	0,9	2
jakojohtot eristämätön	0,8	
Vesiradiaattori 70/40 °C jakotukilla		
	0,80	2
Vesiradiaattori 45/35 °C jakotukilla		
	0,85	2
Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30 °C		
maata vasten rajoittuvassa rak.	0,8	2,5
ryömintatilaan rajoittuvassa rak.	0,8	
ulkoilmaan rajoittuvassa rak.	0,75	
lämpimään tilaan rajoittuvassa rak.	0,85	

Lisäksi lasketaan rakennuksen sähkönkulutus taulukon 15 standardiarvoilla. Sähkön kulutukseen lisätään myös kaikki lämmönjaon ja ilmanvaihdon pumput ja puhaltimet.

Sähkön kulutukseksi saatiin patterilämmityksellä 76 018 kWh ja lattialämmityksellä 77 019 kWh.

7 TULOKSET

7.1 Kustannukset

Kustannukset vaihtelevat toteutusratkaisuittain, kaukolämmöntarpeen ja kaukolämmön-toimittajan toimittajan mukaan. Investointikustannukset olivat alhaisemmat käytettäessä poistoilmalämpöpumppua. Perinteisellä lämmöntalteenottoratkaisulla käyttökustannukset jäivät alhaisemmaksi.

7.1.1 Investoinnit

Poistoilmalämpöpumppuratkaisu toi merkittäviä säästöjä rakennuskustannuksissa. Suurimmat säästöt tulivat ilmanvaihtokoneesta ja sen konehuoneesta.

Yhteensä säästöiksi arvioitiin 47 000 € Investointikustannukset esitetty taulukossa 17. Asuntopinta-ala lisääntyi 2 m². Tämä vastaa asuntojen hinnassa noin 30 €/m²

TAULUKKO 17 .Investointikustannukset vaihtoehtoratkaisuittain.

	PILP	Perinteinen
PILP	85 000 €	
Ilmanvaihtokone		33 000 €
IV-konehuone		42 000 €
Hormit	22500 €	27500 €
kanavisto ja laitteet		52 000 €

Poistoilmalämpöpumppuratkaisussa kaukolämmön liittymismaksut vaihtelivat kaukolämpötoimittajan mukaan. Taulukossa 18 on yhteenveto liittymismaksuista toteutusvaihtoehtoittain ja paikkakunnittain.

Halvinta toteuttaminen oli Helsingissä, kalleinta Jyväskylässä ja suurin hintaero löytyi Tampereelta.

TAULUKKO 18. Kaukolämmön liittymismaksut ratkaisuittain eri paikkakunnilla

Toimittaja	Ratkaisu	Hinta €
HE	Perus	6810
HE	PILP	9998
TS	Perus	6448
TS	PILP	11284
JE	Perus	16121
JE	PILP	18538

7.1.2 Käyttökustannukset

Poistoilmalämpöpumppuratkaisussa käyttökustannukset vaihtelivat kaukolämmön tarpeen, toteutusratkaisun ja kaukolämpötoimittajan mukaan. Taulukossa 19 on yhteenveto käyttökustannuksista kaukolämmöntarpeella ja toteutusvaihtoehdolla eri paikkakunnalla, hinnat euroina.

TAULUKKO 19. Käyttökustannukset kaukolämmöntarpeen, toteutusratkaisun ja kaukolämmöntoimittajan mukaan.

KL-toimittaja	Ratkaisu	Patteri	Patteri ei lämpökuorma	Lattialämmitys	Lattialämmitys ei lämpökuorma	PILP 69 % lämmöntarpeesta
HE	Perinteinen	18938	18938	18938	18938	18938
HE	PILP	24522	24862	24015	24785	24402
TS	Perinteinen	21775	21775	21775	21775	21775
TS	PILP	22984	24555	22477	24478	22790
JE	Perinteinen	19649	19649	19649	19649	19649
JE	PILP	21330	21753	21187	21677	21206

Hintaerot ovat suurimmillaan Helsingissä, jossa kaukolämpö on halpaa ja se on hinnoiteltu kausikohtaisesti. Pienemmät erot olivat Jyväskylässä missä kaukolämmöllä on sama kiinteä hinta ympärivuoden. Lattialämmityksellä kustannukset olivat alhaisemmat kuin patterilämmityksessä, johtuen paremmasta lämpökertoimesta lämmöntuotossa. Lämpökuorman huomioiminen kaukolämmöntarpeessa alensi kustannuksia.

7.2 E-luku

Rakennukselta vaadittu E-luku $130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ei täytynyt millään toteutusratkaisulla. Kokonaisenergiankulutus oli suurinta laskentatavoilla jossa lämpökuormaa ei huomioitu. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut suuresti E-lukuun, johtuen lämmitysmuotojen erilaisista kertoimista. Muilla tavoilla energiankulutukset olivat melko samanlaisia. Lattialämmitys oli energiankulutuksen ja E-luvun kannalta parempi ratkaisu kuin patterilämmitys.

TAULUKKO 20. Kaukolämmöntarpeen ja lämmönjaon toteutustavan vaikutukset E-lukuun.

Laskentatapa ja toteutus	Kaukolämpö kWh	Sähkö kWh	E-luku
Patteri	79752	134807	142,4
Patteri, ei kuorma	147730	105411	141,2
Lattialämmitys	79752	130584	138,8
Lattialämmitys, ei kuorma	147730	104773	140,7
PILP 69 % lämmöntarpeesta	75632	135763	141,8
Perinteinen LTO	140776	83362	120

Jotta vaadittuun E-lukuun päästäisiin on rakennuksessa tuotettava uusiutuva energiaa tai vähennettävä johtumishäviöitä.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Insinööritoimisto tehtiin Optiplan Oy:lle yhteistyössä NCC Rakennus Oy:n kanssa. Työn tarkoituksena oli tutkia mahdollisuutta käyttää poistoilmalämpöpumppua lämmöntalteenottolaitteena uusissa asuinkerrostalossa ja sen vaikutuksia kustannuksiin ja E-lukuun case-kohteen avulla. Uudet rakentamista koskevat energiamääräykset tulivat voimaan heinäkuussa 2012. Määräyksissä siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun ja energiamuodoille on annettu energiakertoimet. Sähköllä kerroin on 1,7 ja kaukolämmöllä 0,7. Siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun antaa vapaammat kädet toteuttaa suunnittelu, kunhan vain vaadittu E-luku täyttyy.

Poistoilmalämpöpumpulla kerätään talteen poistoilmassa olevaa lämpöä kompressorin ja sähkön avulla. Talteen kerätty lämpö käytetään rakennuksen tai käyttöveden lämmittämiseen. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän lämpökerroin on usein 3-4, eli yhdellä kilowatilla sähköä saadaan 3-4 kilowattia lämpöenergiaa. Jäteilman lämpötila on vakio, joten lämpökerroin riippuu siitä kuinka lämmintä vettä tuotetaan. Lattialämmityksellä lämpökerroin on paras ja käyttöveden lämmityksessä heikoin.

Lämmin käyttövesi varastoidaan varaajaan kysyntähuippuja varten. Poistoilmalämpöpumppu on mahdollista kytkeä yhteen kaukolämmön kanssa monella tapaa. Mitään varsinaista ohjetta ei ole vielä olemassa, joten kytkentätapa on aina kysyttävä kaukolämmön toimittajalta ja laitevalmistajalta.

Koska poistoilmalämpöpumppua käytettäessä ei rakenneta tuloilmakanavistoa, on korvausilma tuotava korvausilmaventtiilillä, -patterilla tai –ikkunalla. Näistä tuloilmaikkuna on energiatehokkain, koska ilma lämpiää lasien välissä ennen tuloa huonetilaan. Tuloilmapatterilla vedon riski on vähäisin.

Lämmönjako on mahdollista toteuttaa lattialämmityksenä, jakotukeilla patterilämmityksenä tai kaksiputkijärjestelmänä pattereilla. Märkätilojen lämmitys on järkevä hoitaa vedellä käytettäessä poistoilmalämpöpumppua.

Kesäajan huonelämpötilan hallinnassa on tärkeää kiinnittää huomiota passiiviseen suojaukseen, koska tuloilmaa ei voida jäähdyttää.

Poistoilmalämpöpumppua käytettäessä sähkön kulutus kasvaa, joten sähköliittymän koko tulee aina tarkastaa mietittäessä ratkaisua.

Kaukolämmön tilausteho kasvaa käytettäessä poistoilmalämpöpumppua, koska talviaikaan järjestelmän lämmöntalteenotto ei vastaa tulo-poistojärjestelmän lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. Kesäaikaan PILP taas pystyy tuottamaan kaiken rakennuksen tarvitseman lämpöenergian. Kaukolämmön tarvetta on arvioitu kolmella eri tavalla, kahdella laskennallisella ja yhdellä kirjallisuudesta saadulla arviolla. Kaksi vaihtoehtoista antoi suunnilleen samaan tuloksen ja kolmas oli melkein reilu kaksinkertainen. Näistä kaksi pienempää arvoa ovat todennäköisesti lähempänä todellista kuin suurin.

Investointikustannukset ovat alhaisemmat poistoilmalämpöpumpulla. Suurimmat säästöt tulevat ilmanvaihtokoneesta ja konehuoneesta. Kokonaissäästöiksi saatiin 4200-44500 €riippuen kaukolämmön toimittajan liittymismaksusta.

Käyttökustannukset riippuvat kaukolämmön myyjästä ja hinnoittelusta, ollen PILP:llä suuremmat. Kustannusero tulee kuitenkin kaventumaan tulevaisuudessa, energian hintojen noustessa.

Tasauslaskentaa varten määritettävä poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde oli erittäin hankala määrittää. Mitään varsinaista ohjeistusta asiasta ei ollut, joten sovellettiin ympäristöministeriön monistetta 122, ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa ja saatuja kuvaajia. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä oli vielä helppo määrittää, mutta paljonko pumppu lämmittää tiloja ja miten kompressorin tuottama lämpö tulee huomioida, aiheuttivat päänvaivaa. Vuosihyötysuhdeeksi saatiin 78 %. Vaatimus tasauslaskennassa on 45 %. Vaikka vuosihyötysuhde on varsin korkea, tulee muistaa että poistoilmalämpöpumppu käyttää runsaasti sähköä lämmön talteenottamiseksi ja tätä ei huomioida tasauslaskennassa.

Rakennukselle asetettua E-luku raja $130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ei täyttynyt millään toteutusratkaisulla. Alhaisimmat tulokset tulivat lattialämmityksellä, mutta ero patterilämmitykseen ei ollut suuri. Vaikka lattialämmitys on E-luvun ja käyttökustannusten valossa varteenotettavin ratkaisu, on riski vedon suhteen suurempi kuin pattereilla. Lisäksi lattialämmitys reagoi hitaasti lämpökuormien vaihteluun. Tästä johtuen on parempi suosia patterilämmitystä.

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä kuluttaa vuositasolla vähemmän energiaa kuin perinteinen tulo-poistojärjestelmä, mutta energiakertoimien vuoksi E-luku muodostuu suureksi. Käyttökuluissa kaukolämmön hinnoittelu vaikuttaa voimakkaasti kulurakentee-

seen. Pienin ero oli Lahdessa, jossa kaukolämpö on hinnoiteltu kiinteästi. Suurin ero oli taas Helsingissä, jossa kaukolämpö on halpaa ja hinnoiteltu kausikohtaisesti. Käytännössä energian kulutus on laskelmia pienempi käytettäessä tuloilmaikkunoita. Tuloilma lämpiää lasien välissä ja pienentää ulkoilmaan johtuvia häviöitä. Energialaskenta ei kuitenkaan tunne tuloilmaikkunaa lämmöntalteenottoratkaisuna.

Investoinnissa säästetyt kulut, 4200-44500 € € voidaan investoida uusituvan energian tuottoon tai johtumishäviöiden vähentämiseen. Näin saadaan alennettua E-lukua ja käyttökustannuksia.

Uusiutuvan energian tuotto voi tapahtua aurinkolämpökeräimillä tai aurinkosähköjärjestelmällä. Näistä aurinkosähkö on järkevämpi vaihtoehto, koska lämpöä voidaan tuottaa helposti ja edullisesti PILP:llä ja sähkönkulutuksen vähentäminen alentaa E-lukua voimakkaammin kuin kaukolämmön. 10 kWp suoran aurinkosähköjärjestelmän hinta-arvio oli noin 23 000€ Tämä alentaisi E-lukua noin 7 kWh/ (m² a) ja kustannuksia noin 1000 €/vuodessa. Suurempikin järjestelmä olisi mahdollinen, mutta silloin tarvittaisiin sähkön varastointia ja tämä kasvattaa kuluja huomattavasti. Tulevaisuudessa sähkön varastointikustannukset ovat kuitenkin voimakkaassa laskussa ja investointia tulee tarkastella tulevaisuudessa uudestaan. (Kantonen,2013)

Investointi edellä mainittuun aurinkosähköjärjestelmään ei itsessään riitä saavuttamaan vaadittua E-lukua. Paneelipinta-alaa on kasvatettava ja sähköä varastoitava tai lämpöhäviöitä voidaan pienentää paremmilla ikkunoilla ja ovilla.

Mietin myös ideaa miten PILP:ä voidaan paremmin hyödyntää lämpimän käyttöveden valmistamisessa kesäaikaan. Esimerkiksi kolmen talon vuokrataloyhtiössä yksi taloista olisi poistoilmalämpöpumpulla toteutettu ja muut tavallisessa lämmöntalteenotolla. Näin PILP pystyisi kesäaikaan tuottamaan kaikkien kolmen talon lämpimän veden. Tämä lisäisi PILP:n käyttöastetta, sekä alentaisi E-lukua ja käyttökuluja. Erityisen kannattavaa tämä olisi alueella missä kaukolämpö on kallista ja hinnoiteltu kiinteää. Myös kaukolämmön toimittaja voisi kannattaa ajatusta alueilla, joissa kaukolämmön tuottaminen on kallista kesäaikaan.

LÄHTEET

C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma Äänieristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja Ohjeet 1998, 1998

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012, 2011.

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma Rakennusten energiatehokkuus. 2/11 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta, 2012.

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, luonnos 14.3.2012, 2012. Luettu 25.2.2013
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135289&lan=fi>

Energiamarkkinavirasto. 2013. Sähkön hintatilastot. Luettu 22.4.2013
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/alasivu.asp?languageid=246&gid=67>

Energiateollisuus ry. 2010. Kaukolämmön sopimusehdot, suositus T1/2010. Luettu 5.3.2013
http://energia.fi/sites/default/files/suositu1_2010_kl-sopimusehdot_0.pdf

Heimonen ja Hemmilä. 2006. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus. Luettu 3.3.2013
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2329.pdf>

Helsingin energia. 2013. Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut. Luettu 24.4.2013
http://www.helen.fi/hinnasto/Lampomaksut_1305.pdf

Helsingin energia. 2013 Sähköverkko. Liittymismaksut. Luettu 22.4.2013
http://www.helen.fi/hinnasto/liittymismaksut_pysyva.pdf

Hydrocell. Tuotteet. Lämmönsiirtimet Luettu 17.3.2013
<http://www.hydrocell.fi/lammonsiirtimet/tuotteet/>

Innoair. Tuotteet, Velco termostaattiventtiili. Luettu 11.4.2013
http://www.innoair.fi/epages/Kaupat.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/Innoair/Products/velco-vlr-100

Jurvelin H. 2011. Kaukolämmön soveltuvuus hybridilämmitykseen. Talotekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kantonen M. 2013. Laitetoimittaja. Sähköpostiviesti. matti.kantonen@finnwind.fi. Luettu 17.5.2013.

Jyväskylän energia. 2013. Kaukolämmön hinnasto. Luettu 24.4.2013
http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/242-kaukolampohinnasto_2013_web.pdf

Jyväskylän energia. 2013. Sähkön ja kaukolämmön Liittymishinnasto. Luettu 22.4.2013
http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/241-tonttiliittymien_hinnasto_2013_web.pdf

Kurnitski J. 2012 Energia määräykset 2012, opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen rakennusmedia

LVI 05-10440 Sisäilmaluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Sisäilmayhdistys ry, Rakennustietosäätiö RTS, Suomen Arkkitehtiilito SAFA ry, Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry, Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry, 2008

Lämpöpumppujen energialaskentaopas, Ympäristöministeriö, 2011. Luettu 28.2.2013
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135655&lan=fi>

Naavatar. Esite poistoilmalämpöpumpuista. Luettu 15.3.2013
http://naavatar.fi/wp-content/uploads/2012/09/naavatar_esite_K_LR.pdf

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput. Helsinki: Alfamer /Karisto

Purmo. 2011. Esite tuloilmapatterista. Luettu 11.4.2013.
http://www.purmo.com/docs/PURMO_Technicalbrochure_FI_0711_lowres.pdf

Pöyry. 2011. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Luettu 4.4.2013. http://energia.fi/sites/default/files/ljk-kytkennat_mitoituslampotilat_poyry_2011.pdf

Seppänen O. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto

Tampereen sähkölaitos. 2013. Kaukolämpö. Hinnastot ja sopimusehdot. Luettu 24.4.2013
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/kaukolampojaahdytysjamaakaasu/kaukolampo/hinnastotjasopimusehdot/Sivut/default.aspx>

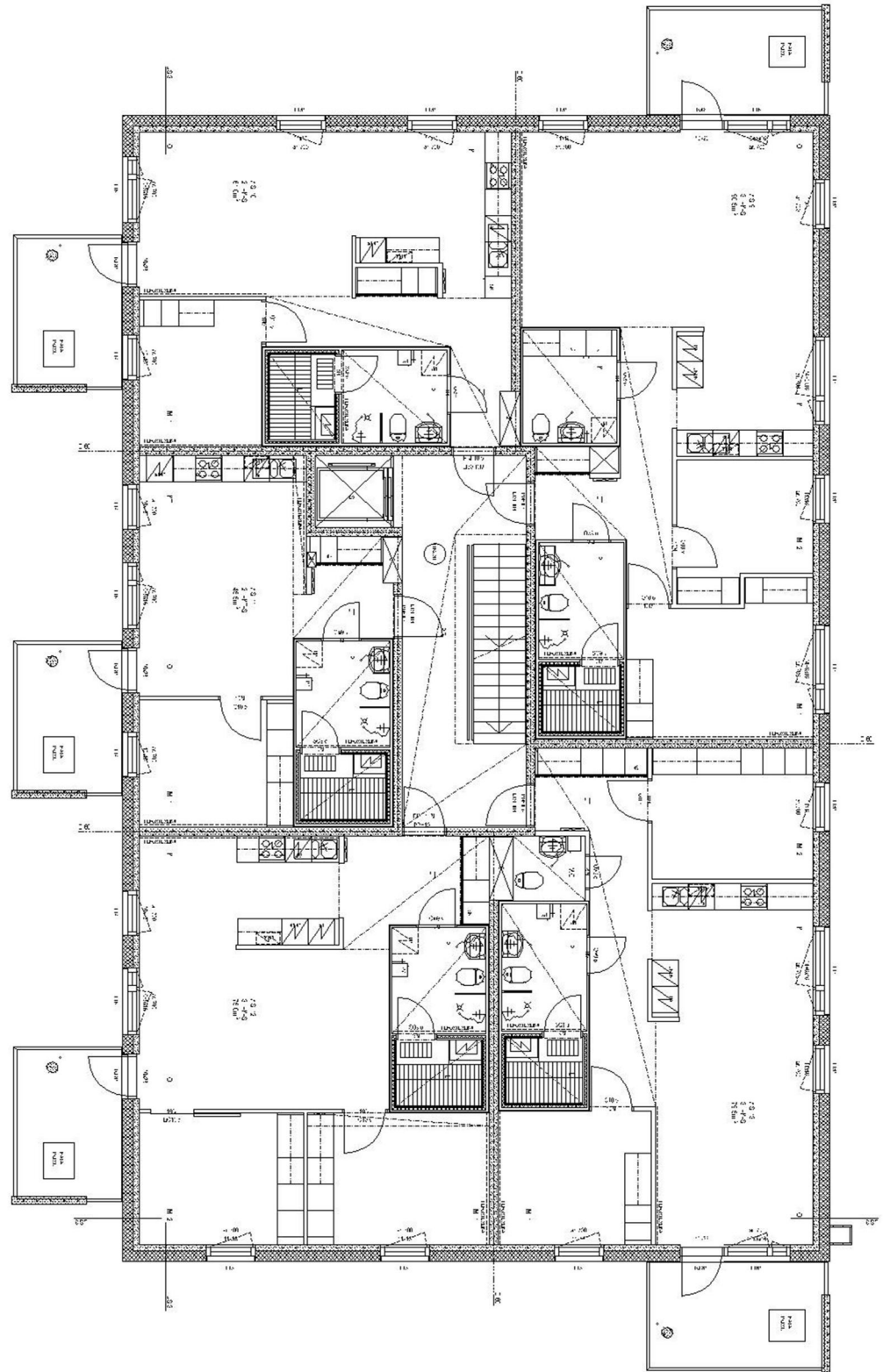
Tampereen sähkölaitos. 2013. Sähköverkko. Liittymismaksut. Luettu 22.4.2013
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittyminen/Documents/Sahkoverkonliittymismaksut01072011.pdf>

Vesterinen V. 2012. Asuinrakennuksen kesäajan ylläampötilojen hallinta - käyttövaiheen lämpöviihtyvyys. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Vornanen M. 2012. Maalämmön ja aurinkokeräinten toteutus asuinkerrostalossa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Ympäristöministeriö. 2003. Moniste 122, Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Luettu 15.2.2013.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>

ÄF-Consult. 2013. Kaukolämmön hinnoittelun nykytila ja tulevaisuuden mahdollisuudet. Luettu 2.5.2013
<http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammonhinnoittelunnykytilajatuulevaisuudenmahdollisuudet.pdf>

LIITTEET**Liite 1. Pohjakuva**

Liite 2. Hormikuvat

